

**Untersuchungen über die Wirkung
energietechnischer Felder
auf den Menschen**

Günter Hauf


1974


Aus dem Institut für Rechtsmedizin der Universität München

Direktor: Professor Dr. W. Spann

**Untersuchungen über die Wirkung
energietechnischer Felder auf den Menschen**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde

in der gesamten Medizin

verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Günter Hauf

aus Planegg

1974

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. W. Spann

Dekan: Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 29. Januar 1974



Inhaltsverzeichnis

- I Einleitung
- II Beeinflussung biologischer Systeme durch elektromagnetische Strahlung im Spiegel der Literatur
- III Bisherige Untersuchungsergebnisse auf dem energietechnischen Sektor
- IV Technische Feldberechnungen und Messungen zur Größenordnung der zur Diskussion stehenden Felder
- V Versuchsbedingungen
 - a) technische Anlagen
 - b) medizinische Untersuchungen
- VI Die Untersuchungsserien und ihre Ergebnisse
- VII Verhalten der Ionenkonzentration im Raum
- VIII Pathophysiologie der Stromeinwirkung im technischen Bereich
- IX Zusammenfassung und Diskussion

I E i n l e i t u n g

Menschen und Tiere leben in ihrer Umwelt, die von ihnen in spezifischer Weise und individuell beeinflusst wird. Andererseits sind auch die Lebewesen teils durch natürliche Gegebenheiten, teils durch die vom Menschen geschaffenen Einrichtungen vielfältigen Einflüssen ausgesetzt.

Diese können biotischer, das heißt durch Pflanzen, Art- oder Nichtartgenossen hervorgerufen, oder abiotischer Natur sein. Die abiotischen Einflüsse sind chemischer oder physikalischer Natur.

Die meisten physikalischen Faktoren wie Temperatur, Feuchtigkeit, Dichte und Struktur des Aufenthaltsmediums wurden durch die Meteorobiologie weitgehend untersucht und erforscht.

Daß das breite Spektrum elektromagnetischer Schwingungen und Felder ebenfalls eine Wirkung auf Lebewesen hat, ist seit langem bekannt. Es wurde jedoch bisher nur in spezifischen Bereichen untersucht und diese Wirkung teilweise für den Menschen nutzbar gemacht (z. B. Röntgenstrahlen).

Das Vorhandensein atmosphärischer Elektrizität wurde 1759 durch den französischen Arzt MOLENNIER nachgewiesen. Er erkannte bereits biologische Einflüsse auf Mensch und Tier.

Abbé NOLLET stellte 1774 fest, daß Pflanzen bei hoher Luftelektrizität eine Beschleunigung der Keimung und des Wachstums zeigten.

Diese Untersuchungen konnten 1956 durch JANICKE und 1959 durch KÖNIG-KEMPEL-LEMPRECHT bestätigt werden.

Abbé BERTHOLON vertrat um 1780 als erster die Ansicht, daß atmosphärische Elektrizität unseren Körper voll und ganz durchdringt und daß deren Änderungen bestimmte Einflüsse auf den Organismus ausüben müssen. Er glaubte, daß Ladungsenergien durch die Haut und über die Lungen in den Organismus eintreten und über den Blutkreislauf verbreitet werden.

Alexander VON HUMBOLDT führte viele Krankheiten auf eine zu niedrige Luftelektrizität zurück.

Von besonderem Interesse sind die grundlegenden Arbeiten von Clerk MAXWELL (1873) und Michael FARADAY, die sich beide mit dem elektrischen Feld beschäftigten. MAXWELL stellte ein Modell der elektrischen Kraftlinien auf. Diese von einem geladenen Konduktor ausgehenden Linien füllen den Raum zwischen Konduktor und Erde aus. Die Stärke oder Intensität eines elektrischen Feldes in einem bestimmten Raumbereich ist abhängig von der Anzahl der in diesem Bereich vorhandenen Linien. Sie wird gemessen in Volt/cm oder Kilovolt/m.

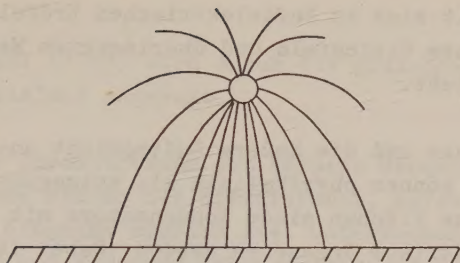


Abb. 1 Elektrisches Feld zwischen einem geladenen Konduktor und Erde

Er zeigte auch, daß entlang dieser Kraftlinien ein elektrischer Strom fließt, der durch die Hin- und Herbewegung der Atomladungen des Dielektrikums entsteht.

FARADAY zeigte, daß der Raum innerhalb einer geerdeten metallischen Hülle feldfrei bleibt, auch wenn sich außerhalb Ladungen befinden. Werden auf eine Stelle eines kugelförmigen Leiters Ladungen gebracht, so verteilen sie sich wegen der elektrostatischen Abstoßung gleichmäßig auf demselben. Bei einem Körper mit verschieden gekrümmten Oberflächenanteilen ist die Ladungsdichte (q/cm^2) um so größer, je größer die Krümmung ist; der Extremfall ist die Spitze.

In den letzten Jahren sind aus Kreisen der Meteorobiologie eine ganze Reihe von Arbeiten erschienen, die sich mit der biologischen Wirkung der Luftelektrizität befassen. Vor allem REITER hat hier sehr wesentliche Beiträge geleistet.

Das Leben spielt sich im luftelektrischen Erdfeld ab, das aus einem Gleichfeld und überlagerten Wechselfeldern besteht.

Die Erdoberfläche und die äußere Luftschicht unseres Planeten können physikalisch als entgegengesetzt geladene Flächen eines Kondensators mit Luft als Dielektrikum angesehen werden. Dabei ist die Erdoberfläche negativ, die Ionosphäre dagegen positiv geladen (Spannung ca. 400 000 Volt).

Der Mensch wird im Freien ständig von einem elektrischen Strom, dem sogenannten Vertikalstrom, durchflossen, der bis zu 40×10^{-12} Amp. betragen kann. Der Ionenaustausch im Körper soll durch ihn beeinflußt werden.

Die regelmäßigen Veränderungen der luftelektrischen Felder ziehen zahlreiche biologische Vorgänge nach sich. Unter anderem sind tägliche, monatliche und jährliche Schwankungen zu beobachten.

In zahlreichen Versuchen konnte u. a. von ALTMANN gezeigt werden, daß Versuchstiere im statischen elektrischen Feld einen höheren Sauerstoffverbrauch haben, als Vergleichsgruppen im Faraday-Käfig. Ein zerhackter Gleichstrom verstärkt diese stimulierende Wirkung.

Nach SCHORER (1952) steigt z. B. bei hoher statischer Luftelektrizität der Blutsauerstoffgehalt in vivo und in vitro.

Nach FREY (1949) wird durch die gleichen Einflüsse der Kreislauf angeregt.

Bei der Durchströmung des Körpers vermindern absteigende Ströme die Erregbarkeit, aufsteigende Ströme hingegen erhöhen sie. Untersuchungen an Fischen und Fröschen haben gezeigt, daß je nach Richtung des Stromes auch der Gesamtstoffwechsel erhöht oder erniedrigt ist.

Elektromagnetische Wechselfelder hingegen bewirken im Körper oszillierende Bewegungen von Ionen.

Biologische Vorgänge werden sowohl durch die Intensität als auch durch die Frequenz solcher Wellen beeinflusst.

Bekannt sind die Wirkungen elektromagnetischer Wellen erzeugt durch Wetterfronten, Föhn, Gewitter, Sender usw.

Zum Wesen der elektromagnetischen Wellen bzw. der Feldstrahlung müssen hier einige allgemeine Bemerkungen gemacht werden:

- a) Unter Feldstrahlung wird der Transport elektromagnetischer Energie mit hoher Geschwindigkeit (im Vakuum Lichtgeschwindigkeit) verstanden. Ihre Charakterisierung erfolgt durch die Angabe der Frequenz bzw. der Wellenlänge. Unter der Frequenz f

(in Hertz) versteht man die Anzahl der Polaritätswiederholungen pro Sekunde. Die Zeitdauer für diese Polaritätswiederholung wird mit der Periodendauer T bezeichnet. Es besteht ein Zusammenhang mit der Frequenz und damit gilt:

$$T = 1/f \text{ Sekunden}$$

Unter der Wellenlänge versteht man die Strecke, die eine mit Lichtgeschwindigkeit C sich ausbreitende Welle innerhalb der Zeit zurücklegt, die durch die Periodendauer T gegeben ist. Es gilt:

$$a = C \times T = C/f$$

das heißt, das Produkt aus Wellenlänge und Frequenz einer sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitenden Welle ist

$$a \times f = C$$

also gleich der Lichtgeschwindigkeit.

Einen Überblick über die gesamte Frequenzskala der elektromagnetischen Strahlung soll Tabelle I geben.

PHYSICAL CHARACTERISTICS OF ELECTROMAGNETIC FIELDS

TABLE 1. Region of Electromagnetic Spectrum from Infralow to Superhigh Frequencies, in Which $h\nu < kT$

Wave ranges	Low-frequency waves										Radio waves					Ultraradio waves				
											Long					Microwaves				
Wavelength, cm	10^{13}	10^{12}	10^{11}	10^{10}	10^9	10^8	10^7	10^6	10^5	10^4	Long	Medium	Intermediate	Short		Meter	Deci-meter	Centi-meter	Milli-meter	Transi-tional
Frequency, Hz	$3 \cdot 10^{-13}$	$3 \cdot 10^{-12}$	$3 \cdot 10^{-11}$	$3 \cdot 10^{-10}$	$3 \cdot 10^{-9}$	$3 \cdot 10^{-8}$	$3 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^0$	$3 \cdot 10^1$	$3 \cdot 10^2$	$3 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^6$
$h\nu/kT$	$4.5 \cdot 10^{-13}$										$4.5 \cdot 10^{-9}$					$4.5 \cdot 10^{-3}$				0.45
Frequency ranges	Infra-low	Low	Industrial	Audio	High (HF)	Ultrahigh (UHF)	Superhigh (SHF)													

Tab. I

VLF = very low frequency

ELF = extremely low frequency

ULF = ultra low frequency

Ursprung der verschiedenen Strahlungsarten:

Im Zusammenhang mit der biologischen Wirkung der Strahlung ist es von Bedeutung, deren möglichen Ursprung festzuhalten. Die kosmische Ultrastrahlung kommt aus dem All. Es wird jedoch diskutiert, daß ein Teil dieser Strahlung möglicherweise aus dem Erdinnern stammt.

Röntgenstrahlen fallen aus dem Kosmos ein, werden jedoch auch künstlich erzeugt.

Infrarotstrahlung (Wärme) kann von überall herkommen.

Hochfrequenzstrahlung kommt zum Teil aus dem All, entsteht zum Teil in der Atmosphäre der Erde, wird aber auch durch Radio- und Fernsehsender erzeugt.

VLF- und ELF-Strahlungen entstehen hauptsächlich im Zusammenhang mit Gewittervorgängen. Bei Blitzentladungen strahlen elektromagnetische Wellen in einem sehr großen Frequenzbereich aus.

Die 10 Hz-Strahlung wurde als mechanische Vibration der festen Erdrinde (ROHRACHER, 1949) und als elektromagnetische Atmosphärenstrahlung (SCHUMANN und KÖNIG, 1954) nachgewiesen. Sie gilt als beson-

ders stabile Komponente im Elektroencephalogramm. Im menschlichen Körper erscheint sie nach ROHRACHER auch als Vibration der gesamten Körperoberfläche.

In den gleichen Frequenzbereich fallen die elektrischen und magnetischen Felder, die durch technische Einrichtungen entstehen, wie die 16 $2/3$ Hz-Felder durch den Fahrstrom der Bundesbahn und 50 Hz-Felder durch Starkstromanlagen.

Strahlungen im ULF-Bereich stammen aus dem All und sind sowohl in der Ionosphäre als auch auf der Erde vorhanden.

II Beeinflussung biologischer Systeme durch elektromagnetische Strahlung im Spiegel der Literatur

Dieser Überblick soll anhand vorliegender Veröffentlichungen die bisherigen Kenntnisse und Untersuchungsergebnisse beleuchten.

Zumeist beruhen solche Untersuchungen auf der parallelen Beobachtung von sowohl physikalischen als auch biologischen Ereignissen. Eine eindeutige Zuordnung ist oft sehr schwer vorzunehmen, da die einzelnen Vorgänge häufig miteinander verkoppelt sind.

a) Gruppe der ionisierenden Strahlung

Kosmische Ultrastrahlung scheint bisweilen Mutationen zu bewirken und somit die Evolution des Lebens zu beeinflussen. Gamma- und Röntgenstrahlungen finden in genauer Dosierung Anwendung in der Medizin, können aber bei Überdosierung schwere Schädigungen des Organismus bewirken (Verbrennungen, Erbschäden, Blutkrankheiten).

b) Gruppe der optischen Strahlung

Die UV-Strahlung ist im Zusammenhang mit der Umwandlung von Provitamin D in Vitamin D interessant. Auch eine im 250-270 nm-Bereich liegende bakterizide Wirkung ist zu beobachten.

Ein geringer Teil der elektromagnetischen Schwingungen, die Lichtstrahlen, wird sinnesphysiologisch durch Photorezeptoren wahrgenommen. Dieser Bereich des Spektrums steuert auch wichtige allgemeine physiologische Vorgänge, wobei vielfach wirksame Ionisationsprozesse auftreten.

So wird durch optische Reize, die das Nerven- und Hormonsystem beeinflussen, bei Amphibien und Crustaceen ein an der Umgebung orientierter Farbwechsel ausgelöst.

Bei Tieren, die vornehmlich in dunklen Räumen gehalten werden, wurde eine verminderte Wasserausscheidung beobachtet.

Nach HOLLWICH zeigen erblindete Personen ein deutlich gedunsenes Aussehen als Folge einer zu hohen Hemmung der Wasserausscheidung.

Lichtabhängige Prozesse finden sich auch im Kohlenhydratstoffwechsel durch Einwirkung auf die Inselorgane und die Produktion von Insulin. Nach Insulinbelastung zeigen sehkräftige, belichtete Kontrollpersonen ein gleichmäßiges Einpendeln des Blutzuckernormalwertes. Hingegen sinken die Blutzuckerwerte bei nicht belichteten bzw. erblindeten Personen unregelmäßig und stufenförmig ab.

Die Infrarotstrahlung zeigt im wesentlichen eine Wärmewirkung, welche durch die vom Körper absorbierte Strahlung ausgelöst wird.

c) Gruppe der HF- und NF-Strahlung

Auf diesem Gebiet hat u. a. PRESMAN gearbeitet und über eine große Zahl von Untersuchungen berichtet.

Aus der Übersichtstabelle (Tab. II) ist die tödliche Wirkung elektromagnetischer Strahlung verschiedener Frequenzen auf Tiere ersichtlich (nach PRESMAN).

LETHAL ACTION OF EMFs

Death of Animals Due to EMFs of Various Frequency Ranges

EMF parameters	Animal	Lethal values		Evaluation of lethal outcome		Reference
		EMF intensity	Duration of exposure, min	Temperature increase, °C	%mortality	
Constant magnetic field	Drosophila	120,000 Oe	60	—	100	Beischer, 1964
50-500 Hz	Mouse	650,000 V/m	60-120	—	70-90	Solov'ev, 1963b
50 Hz		650,000 "	270	—	50	
500 Hz		650,000 "	90	—	50	
14.88 MHz	Rat	9,000 "	10	—	100	Fukalova, 1964b
	"	5,000 "	100	—	80	
	"	4,000 "	100	—	25	
69.7 MHz	"	5,000 "	5	—	100	
	"	2,000 "	100	—	83	
200 MHz	Dog	330 mW/cm	15	5	50	Addington et al., 1961
	"	220 "	21	4.1	25	
	Guinea pig	590 "	20	5.9	100	
	"	410 "	20	4.2	67	
	"	330 "	20	4.1	100	
	Rabbit	165 "	30	6-7	100	Michaelson et al., 1961a
2800-3000 MHz (pulsed)	Dog	165 "	270	4-6	100	Michaelson et al., 1961b
	Rabbit	300 "	25	6-7.5	100	
	"	100 "	103	4-5	100	
	Rat	300 "	15	8-10	100	
	"	100 "	25	6-7	100	
	"	40 "	90	—	100	Lobanova, 1960
10,000 MHz (pulsed)	"	400 "	13-14	7	100	Mirutenko, 1964
	Mouse	32 "	1.7	5.6-7.8	100	
	"	8.6 "	33	9.2	100	
	"	5 "	188	6.8	50	
24000 MHz (pulsed)	Rat	300 "	20	5.5	100	Deitchman et al., 1959
	"	28 "	139	—	100	
	Mouse	170 "	6.3	—	100	
	"	37 "	282	—	100	
	"					

Tab. II

Auch berichtet PRESMAN, daß durch UHF-Strahlung grauer Star bei Ratten erzeugt wurde. Krebsbefallene Mäuse wurden mit einer Strahlung der Frequenz 460-1 200 MHz ohne Effekt bestrahlt. Die Frequenz von 1870-3000 MHz führte eine Hemmung des Tumorwachstums herbei, und eine Bestrahlung mit 6000 MHz bewirkte bereits bei geringer Intensität die Resorption von Sarkomen bei Ratten.

Das statische Magnetfeld zeigt offenbar eher eine Steigerung von Krebswachstum. Hingegen scheint die Kombination statisches Feld + Mikrowellen unter Umständen gegen Krebswachstum wirksam zu sein.

Küken zeigten mit 1875 MHz bestrahlt, einen 1,5-fach reduzierten Stoffwechsel, worauf sie verendeten.

Im Bereich von 13,05-13,45 MHz zeigt sich nach PRESMAN eine Beeinflussung des Gammaglobulins.

Nach 20-minütiger Bestrahlung in Feldern von 1,5 kV/m im Frequenzbereich von 9,5-500 kHz wurden bei Kaninchen Veränderungen des Blutzuckergehaltes festgestellt. Der größte Effekt trat immer bei Bestrahlung der Kopfgegend im Vergleich zur Lebergegend auf.

Unter 500 kHz-Feldern zeigten Ratten eine Veränderung im Blutdruck sowie nichtthermische biologische Effekte in Herzzellen und im Gehirn.

REITER konnte anhand von rund 1 Million Einzel-daten zeigen, daß die Zunahme der Impulshäufigkeit im Bereich zwischen 10 kHz und 100 kHz statistisch sicher mit dem Anstieg oder der Zunahme folgender Ereignisse verknüpft ist: Beschwerden bei Hirnverletzten und Amputierten, Beschwerden interner Kranker, Ausbruch von Kinderlähmung, Todesfälle und Geburten, Verkehrs- und Betriebsunfälle, Reaktionszeit.

Interessant ist hier auch die nach REITER notwendige Reizspannung an amputierten Stümpfen, die eine Schmerzempfindung erzeugt. Die maximale Empfindlichkeit lag bei ca. 4 Volt im Bereich von 400-2000 Hz. Am gesunden Arm wird die Empfindlichkeit mit sinkender Frequenz ständig größer. Meterwellen, die mit 50 Hz moduliert wurden, zeigten eine Veränderung des Bindegewebe-pH (Erhöhung von 7 auf 7,5) von narkotisierten Meerschweinchen.

ALTMANN stellte bei verschiedenen Versuchstieren, die einem Wechselfeld ausgesetzt waren, einen im Vergleich zu im Faraday-Käfig gehaltenen Vergleichsgruppen, erhöhten Gesamtgehalt an freien Aminosäuren im Gewebe fest. Weiterhin konnte er zeigen, daß durch Bestrahlung mit niederfrequenten Wechselfeldern von 1,75 und 5 Hz die Aktivität von Versuchstieren gehemmt wird, während 10 Hz-Felder eine deutliche Aktivitätserhöhung sogar über dem Durchschnitt der Werte im Gleichfeld bewirken.

Ähnliche Ergebnisse erzielten KÖNIG und ANKERMÜLLER bei Reaktionszeitmessungen an Versuchspersonen. Im 10 Hz-Feld wurde die Reaktionszeit verkürzt, während sie sich bei Anwendung von 2-6 Hz-Wechselfeldern verlängerte.

Nach WEVER ist durch schwache elektrische 10 Hz-Felder beim Menschen eine Tagesrhythmus-Triggerung zu erreichen.

SCHUA beschreibt in einer seiner Arbeiten die Fluchtreaktion von Goldhamstern aus dem elektrischen Wechselfeld (Bereich: einige Hz-10 kHz, 1-9 Volt). Ein Zusammenhang mit der Frequenz konnte nicht abgeleitet werden.

ZAHNER konnte bei einem ähnlichen Versuch keine Reaktion beobachten (Kippschwingungen, Sinusvariationen von 30 Hz-30 kHz, Feldstärken von 0,6-1,7 kV/m).

III Bisherige Untersuchungsergebnisse auf dem energietechnischen Sektor

Die schnelle Weiterentwicklung der Zivilisation bringt es mit sich, daß sowohl im industriellen als auch im privaten Bereich der Bedarf an elektrischer Energie ständig steigt. Um einen ausreichenden Lastfluß zu gewährleisten, sind die Energieversorgungsunternehmen gezwungen, das Netz der Versorgungsleitungen ständig zu verdichten und die Übertragungsleistung erheblich zu steigern.

Die maximale Übertragungsspannung liegt z. Zt. in der Bundesrepublik nicht über 400 kV.

In einigen Ländern sind bereits 735 kV-Drehstromleitungen sowie verschiedentlich Gleichstromleitungen mit einigen 100 kV in Betrieb.

Geplant und auf Prüffeldern erprobt werden jedoch bereits Systeme mit einer Übertragungsleistung von 1100 und 1500 kV. Hier stößt man in Größenordnungen vor, die schon vom technischen Aufwand her beeindrucken müssen. Es werden Freileitungsmasten mit einer Trassenbreite von bis zu 100 m und einer Höhe von ca. 70 m benötigt. Ein Leiterbündel wird aus 6-10 Leitern bestehen und einen Durchmesser von bis zu 2,5 m haben. Die Projektierung solcher Anlagen dürfte für ein Land wie die Bundesrepublik mit sehr großen Schwierigkeiten verbunden sein.

Die zunehmende Bevölkerungsdichte und der wachsende Wohlstand bewirken eine weitgehende Zersiedelung und somit entstehen immer häufiger Wohngebiete oder Fabrikanlagen in der Nähe von Hochspannungsfreileitungen, Trafostationen oder Schaltanlagen.

Aufgrund dieser Gegebenheiten liegt es nahe, die Frage nach der möglichen Wirksamkeit der durch Erzeugung und Übertragung von elektrischem Strom entstehenden energietechnischen Felder auf biologische Systeme und insbesondere auf den Menschen zu stellen.

Verschiedene Autoren haben sich bereits mit der Frage der biologischen Wirkung solcher Felder beschäftigt, die sich aus einer elektrischen und einer magnetischen Komponente zusammensetzen.

Daß wissenschaftlich fundierte Untersuchungen über eine mögliche Schädigung von Mensch und Tier unter Berücksichtigung aller denkbaren Parameter im Interesse der Allgemeinheit liegen, haben bereits einige gerichtliche Auseinandersetzungen betreffs der Verlegung von Hochspannungsfreileitungen in der Nähe von Wohngebieten sowie eine Anfrage im Deutschen Bundestag (Drucksache VI/2889) und eine Anfrage im Bayerischen Landtag (6210-VI/2c-6316) gezeigt.

Es wurden von Gerichten verschiedene Gutachten angefordert, die sich jedoch in ihrem Inhalt mit we-

nigen Ausnahmen auf theoretische Erwägungen und Berechnungen beschränken.

So schreibt z. B. KÖNIG, daß ihm zwar noch keine ausreichenden Untersuchungen bezüglich der biologischen Wirkung energietechnischer Felder bekannt seien, es jedoch aufgrund der bisherigen Veröffentlichungen über den 1-100 Hz-Bereich durchaus wahrscheinlich ist, daß bei breit angelegten Untersuchungen der eine oder andere Parameter schädliche Wirkungen zeigen wird. Auch sei ein sogenannter Summationseffekt im Sinne einer Allergie nicht auszuschließen. Zu beobachten ist ferner eine sehr unterschiedliche Empfindlichkeit einzelner Personen.

KÖNIG hält es in einem weiteren Gutachten für sehr wahrscheinlich, daß an den Schußnarben eines Schaltwartes in einem Kraftwerk durch die vorherrschenden elektrischen und magnetischen Felder schmerzhaftes Sensationen auftreten können (unter Hinweis auf die von REITER durchgeführten Untersuchungen bezüglich der Schmerzempfindlichkeit von Amputationsstümpfen). Ferner sei es sehr wahrscheinlich, daß die vorhandenen Stecksplitter durch magnetische Felder aufgrund von Vibrationsbewegungen zu schmerzhaften Reizen führen.

KOEPPEN simulierte im Laborversuch die Gegebenheiten unter einer 380 kV-Freileitung. Es wurde jeweils vor und nach einer Feldeinwirkung von

7,5 kV/m, 12,5 kV eff./m und 27 kV eff./m ein EKG geschrieben. Bei 7,5 kV/m waren die Testpersonen gegen Erde isoliert, bei 12,5 und 27 kV/m geerdet.

Bei einer Bestrahlungsdauer von 30 Minuten im ersten Fall, 30 Minuten im zweiten Fall (davon 15 Minuten stetiges Ein- und Ausschalten) und 15 Minuten im dritten Fall zeigten sich im EKG bei insgesamt 7 untersuchten Personen keine Anzeichen für eine Schädigung durch Feldeinwirkung.

Auf die in dieser Arbeit aufgeführten Stromstärkebereiche und Empfindungsschwellen soll an anderer Stelle eingegangen werden.

TISCHER verweist in einem Gutachten u. a. auf die Statistik, die zeige, daß für extrem exponierte Personengruppen keine sich in einer speziellen Berufskrankheit oder überhaupt höheren Krankenzahl oder der mittleren Lebenserwartung ausdrückenden biologischen Wirkungen bekannt seien.

STRUMZA berichtet über 525 Personen, die über eine Zeitdauer von insgesamt 1881 Jahren ärztlich überwacht wurden. Eine Gruppe von 70 Angestellten von Energieversorgungsunternehmen und deren Familien, die ständig im unmittelbaren Bereich (maximale Entfernung 25 m) von Hochspannungseinrichtungen in der Größenordnung von 200-400 kV (50 Hz) arbeiteten

und wohnten, wurde einer Vergleichsgruppe von 74 Angestellten und deren Familien, deren Wohn- und Arbeitsbereich mindestens 125 m von Hochspannungseinrichtungen entfernt lag, gegenübergestellt. Beide Gruppen entstammten demselben sozialen Milieu und zogen im Krankheitsfalle dieselben Ärzte zu Rate.

Es wurden statistisch ausgewertet: Die Zahl der Besuche bei einem praktischen Arzt, die Zahl der ärztlichen Hausbesuche, die Häufigkeit der Aufsuchung eines Spezialisten und der Verbrauch an Medikamenten.

Die Krankengeschichten wurden auf auffällige Besonderheiten hin durchgesehen. Männer, Frauen und Kinder wurden in der Auswertung getrennt behandelt.

Bei keinem der vier berücksichtigten Parameter ergaben sich signifikante Unterschiede in der Gegenüberstellung der exponierten Gruppe zur nicht exponierten Gruppe.

KOUWENHOVEN et al. beschäftigten sich über einen Zeitraum von 42 Monaten mit dem Gesundheitszustand von elf "linemen" (Hochspannungsmonteuren), die teilweise nach der sogenannten "barehand method" und teilweise nach der "hot stick method" arbeiteten. Beide Methoden, die die Arbeit an unter

Spannung stehenden Teilen betreffen, sind in Deutschland nicht gebräuchlich, da hier im Falle einer Montagetätigkeit der Strom bis jetzt immer abgeschaltet werden kann. Die Größenordnung der Hochspannungseinrichtungen lag im Bereich von 138 kV bis 345 kV bei 60 Hz.

Im Bereich der physikalischen Messungen ergab sich:

- 1) Die durch Korona-Entladungen hervorgerufenen Strahlungen waren sowohl bei niederer als auch bei hoher Luftfeuchtigkeit so gering, daß sie kaum in Erscheinung traten. Zu den Messungen wurden Geiger-Müller-Zähler, Dosimeter und unbelichtete Photoplatten verwendet.
- 2) Die Intensität des elektrischen Feldes ist abhängig von den benutzten Schutzeinrichtungen. Die Messungen des Verschiebestromes an isolierten Personen ist bisher technisch nicht möglich.



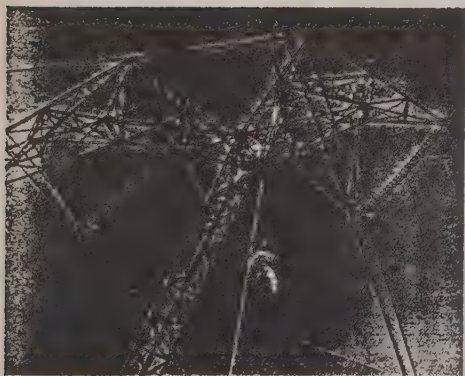
Demonstration of barehand maintenance technique.

Abb. 2



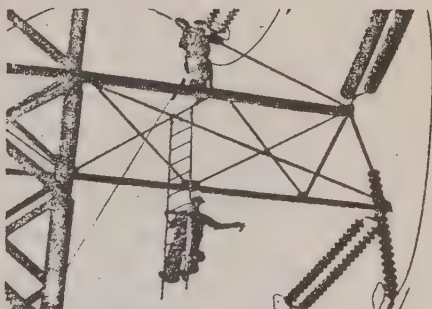
Two men in shielded bucket with rear wall and canopy in place. Bucket is connected to energized 345-kV line.

Abb. 3



Workman suspended between conductor and ground demonstrating live line method.

Abb. 4



Ungrounded lineman measuring potential gradients on 345-kV transmission tower.

Abb. 5

Die Bilder zeigen, wie Arbeiten nach der "barehand method" (Abb. 2 und 3) und nach der "hot stick method" (Abb. 4 und 5) durchgeführt werden.

Untenstehende Tabelle III zeigt die Schutzwirkung des Montagekorbes bei Arbeiten an einer 345 kV-Leitung.

EFFECT OF DIFFERENT DEGREES OF BUCKET SHIELD ON THE
OBSERVED VOLTAGE GRADIENTS* ON LINEMAN'S BODY IN
AN AERIAL BUCKET BONDED TO AN UNFROZEN
345-kV CONDUCTOR

Location	Full Bucket Shield, † Rear Wall, Canopy	Full Bucket Shield, † No Rear Wall, No Canopy	Incomplete Bucket Shield, ‡ No Rear Wall, No Canopy
Top of head	0.4	12.0	11.0
Face	(not taken)	—	7.5
Chest			
Front	1.0	4.0	2.5
Left	1.0	5.4	—
Back	0.0	7.0	5.0-7.0
Right	0.8	8.0	—
Groin	0.0	0.0	0.5
Knee			
Front	0.0	0.0	—
Left	0.0	0.0	1.0
Back	0.0	0.0	2.0
Right	0.0	0.0	2.5-4.0
Feet	0.0	0.0	—

* Gradient in kV/in.

† Bottom plate, front, back, and side screens.

‡ Bottom plate, no front, back, or side screens. Six-inch band on bucket rim only.

Tab. III

3) Die Körperströme wurden mit einem zwischen Körper und Erde gelegten Mikroampèremeter gemessen.

Tabelle IV zeigt die Ergebnisse für eine 138 kV-Leitung.

Position of Lineman	Body Current, μ A
Standing on middle crossarm facing top phase conductor	100-150
Standing on middle step of a ladder hanging from upper crossarm	395
Standing on a ladder hanging from a lower crossarm and using hot stick	400*

* Includes 25 μ A hot stick leakage current.

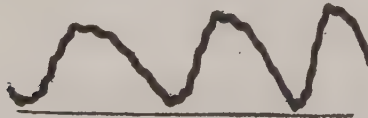
Tab. IV

Tabelle V zeigt die Ergebnisse für eine 345 kV-Leitung.

Bucket Shielding Conditions	Position of Hands	μA
Full bucket shield, rear wall, canopy shields	Down	85
	Working position	130
	Extended	—
Full bucket shield, no rear wall, no canopy	Down	550
	Working position	660
	Extended	840
Partial bucket shield, bottom, front, and back shields, no bucket side screens, rear wall shield, canopy shield	Down	190
	Working position	225
	Extended	345

Tab. V

- 4) Mit Hilfe eines zum Ampèremeter in Serie geschalteten Kohlewiderstandes von 4700 Ohm konnte auf dem Oszillographen gezeigt werden, daß die Körperströme sinusförmig waren. Je nach Stromfluß wurde die Amplitude kleiner oder größer. Siehe Abb. 6 und 7.



Wave shape of 100- μA induced current flowing through lineman.

Abb. 6



Wave shape of a 400- μ A induced current showing evidence of corona.

Abb. 7

Die medizinischen Untersuchungen wurden einmal jährlich im Johns Hopkins Hospital in Baltimore durchgeführt.

Sie erstreckten sich auf den internistischen, den neurologischen, den Hals-Nasen-Ohren-, den urologischen sowie auf den augenärztlichen Bereich.

Die Laboruntersuchungen beinhalteten eine komplette hämatologische sowie eine blutchemische Analyse.

Es wurden weiter untersucht: der Urin, der Stuhl, die Leberfunktion. Ferner wurden EKG und EEG aufgenommen sowie die Hörfähigkeit überprüft.

Ergebnis: Es zeigten sich im Untersuchungszeitraum keine signifikanten Veränderungen in den Laborwerten. Die kardiovaskulären und die respira-

torischen Funktionen waren normal. Auch in den anderen oben genannten Bereichen konnten keinerlei funktionelle Veränderungen gefunden werden, die auf einen Zusammenhang mit der Arbeit im elektrischen Feld hindeuten könnten.

Die oben genannten Autoren haben sich in einer anderen Arbeit mit dem Verhalten von Mäusen im energietechnischen Feld beschäftigt.

Es wurden 22 männliche Mäuse 10 1/2 Monate lang kontrolliert und während dieser Zeit insgesamt 1500 Stunden einem elektrischen Feld ausgesetzt, das im ungestörten Zustand eine Intensität von ca. 160 kV/m aufwies (60 Hz).

Eine Kontrollgruppe lebte bei sonst gleichen Bedingungen im feldfreien Raum. Die Untersuchungen ergaben, daß beide Gruppen normal zeugungsfähig waren. Auch hinsichtlich der Zahl der Nachkommen war kein signifikanter Unterschied festzustellen.

Lediglich die männlichen Nachkommen der exponierten Gruppe zeigten eine auffällig geringere Wachstumsrate. Die Autoren sind der Ansicht, daß hier weitere Untersuchungen nötig seien, um eine Klärung dieses Phänomens herbeizuführen.

Ein Teil der Versuchstiere wurde später einer Autopsie unterzogen, die jedoch in keinem Fall einen auffälligen Befund erbrachte. Es zeigten sich keine pathologischen Veränderungen in den Organen und im Gewebe.

TAGAKI und MUTO haben sich mit dem möglichen Einfluß einer 500 kV-Freileitung beschäftigt.

Ihre Untersuchungen erstreckten sich auf die elektrostatische Aufladung von Gegenständen und mögliche Wirkungen auf den Organismus bei deren Berührung.

Im ersten Versuchsteil wurde ein regenschirmartiges Gebilde verwendet, das in ca. 2 m Höhe unter der Leitung angebracht war und dessen "Griff" gegen Erde isoliert wurde.

Näherte sich eine Person dem Griff dieses induktiv aufgeladenen Schirmes, so gab es wegen der Potentialdifferenz mehrere Überschläge mit Spitzenstromstärken bis zu 10 A. Bei Berührung floß ständig ein geringer Strom von etwa 50-200 μ A (Abb. 8).

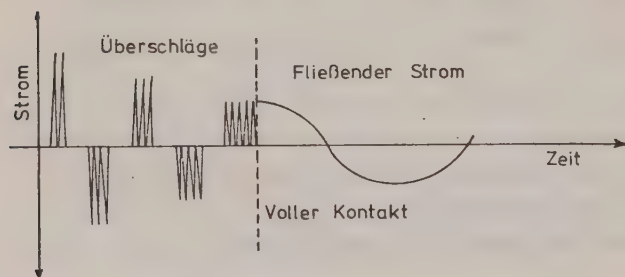


Abb. 8

Eine Empfindung, deren Intensität übrigens von der Annäherungsgeschwindigkeit abhing, war nur bei den Entladungen, nicht jedoch bei einem kontinuierlichen Stromfluß wahrzunehmen.

Bei Annäherung mit dem Finger zeigten die Probanden eine wesentlich geringere Empfindung als bei Annäherung mit der Wange oder mit dem Nacken.

Tabelle VI zeigt die Empfindungsintensität bei verschiedenen Spannungen und bei Verwendung eines Schirmes mit Plastikgriff.

Feldintensität in Volt/cm	Gefühl, wenn die Wange mit dem Griff in Berührung kommt
Weniger als 30 V/cm (weniger als 6 kV)	Wird kaum wahrgenommen
etwa 30-60 V/cm (etwa 6-12 kV)	Ein leichter Schmerz wird empfunden
über 60 V/cm (über 12 kV)	Schmerz wird empfunden

Tab. VI

Im zweiten Versuchsteil wurde eine Schaltung verwendet, mit deren Hilfe die Aufladungsintensität beliebig variiert werden konnte. Über eine verstellbare Funkenstrecke konnten stoßweise und kontinuierlich Entladungen ausgelöst werden. Eine Elektrode wurde durch einen Generator aufgeladen, die ihr gegenüber liegende Elektrode war mit der geerdeten Testperson verbunden. Sinusförmigkeit war gegeben, wenn der Ladungswiderstand 1 K Ω betrug, der Spitzenwert bei 20 A und die Zeitkonstan-

te bei 0,05 μ sec. lagen. Die Feldintensität betrug 2,63 kV/m bei einem Elektrodenabstand von 3 mm und einer Entladungsdauer von 100-500 msec. Ergebnis dieser Untersuchungen:

Aus dem EKG ergab sich, daß die Herzfrequenz im Moment des Einschaltens um 10-15 Schläge/min. variierte. Diese Veränderung pendelte sich nach ca. 10 sec. wieder auf den Ursprungswert ein und ist vergleichsweise geringer als eine durch tiefes Einatmen verursachte Herzfrequenzänderung.

Die Hautwiderstandsänderung liegt in der gleichen Größenordnung wie diejenige, die man während eines intensiven Gespräches feststellt. Der Normalwert wird nach etwa 30 sec. erreicht.

Weder direkte noch reflektorische Muskelbewegungen konnten beobachtet werden. Es zeigten sich jedoch flüchtige Reaktionen im autonomen Nervensystem.

Der systolische Blutdruck stieg kurz nach der Entladung um 6-7 mm Hg an und kehrte nach ca. 1 Minute zum Ausgangswert zurück. Diese Veränderung ist allerdings geringer als eine durch Belastungsproben nach MASTERS oder durch meteorologische Geschehnisse hervorgerufene Blutdruckänderung.

Untersuchungen an Versuchstieren ergaben folgendes:

Bei einer Feldintensität von 2,07 kV/m oder mehr zeigten sich eine Änderung des arteriellen Blut-

druckes um 10-50 mm Hg und ein Anstieg der Atemfrequenz.

Wurde die Intensität auf 3,33 kV/m erhöht, konnten im EKG flüchtige Änderungen wahrgenommen werden.

Die chemische Zusammensetzung des Blutes war nicht verändert.

Wurde die Einwirkung über eine Zeitdauer von 5 min. oder länger aufrechterhalten, so zeigten sich im Bereich der am Ohr befestigten Gegenelektrode mikroskopisch und makroskopisch Hautveränderungen in Form von Nekrosen.

Zusammenfassend kommen die Autoren zu dem Schluß, daß die bei Werten unterhalb 3 kV/m (unter Berücksichtigung der Versuchsbedingungen) auftretenden Veränderungen sowohl in physischer als auch in psychischer Hinsicht reversibel sind und die durch andere Umweltfaktoren bedingten Schwankungsbreiten nicht übersteigen.

DE LORGE vom Naval Aerospace Medical Research Laboratory (USA) hat mit einer Gruppe von Wissenschaftlern an zwei Rhesusaffen das Verhalten, das Erinnerungsvermögen und die Reaktionszeit im elektrischen Feld untersucht (Frequenz: 75 Hz, Spannung: 4 V/m, das Magnetfeld lag in der Größenordnung von 10 Gauss).

Bei keinem der untersuchten Parameter konnten unter den gegebenen Versuchsbedingungen Anomalien festgestellt werden, die auf das elektromagnetische Feld zurückzuführen waren. Der Autor schließt jedoch nicht aus, daß generell Effekte existieren und daß elektromagnetische Felder wohl in Abhängigkeit von der Frequenz bei Tieren Streßsituationen hervorrufen können.

Der Vollständigkeit halber sei hier noch auf Arbeiten von KANZ und SUNDERMANN verwiesen.

In 50 Hz-Wechselfeldern mit sehr hohen Feldstärken (100 kV/m) konnte KANZ an Versuchspersonen typische und deutliche Veränderungen der Geschmacks-, Geruchs-, Gehör- und Tastschwellen feststellen. Auch traten spontane Nervenschmerzen auf, die noch Stunden nach Verlassen des Feldes anhielten.

Diese Ergebnisse in Feldern von sehr hoher Intensität lassen allerdings keine Verallgemeinerung zu.

SUNDERMANN untersuchte an Personen in Wechselfeldern von 5-15 kV/m und 10-5000 Hz Pulsfrequenz, Blutdruck und EKG vor, während und nach der Feldwirkung.

Bei nur 4 von 17 Personen konnten meßbare Feldeffekte gefunden werden.

KOROBKOVA et al. berichteten in einer Sitzung der Internationalen Konferenz der Betreiber großer Hochspannungssysteme (CIGRE) im Sommer 1972 über den Einfluß des elektrischen Feldes in 500- und 750-kV-Stationen auf die Wartungsmannschaft und über Mittel zu deren Schutz.

Das Ergebnis dieser Untersuchungen hat die Behörden in der UdSSR veranlaßt, besondere Schutzbestimmungen einzuführen, die die Aufenthaltsdauer im elektrischen Feld betreffen (Tab. VII und Abb. 9).

Aufenthaltsdauer im elektrischen Feld

Elektrische Feldstärke (kV/m)	Max. zulässige tägl. Aufenthaltsdauer (min.)
5	unbegrenzt
10	180
15	90
20	10
25	5

Tab. VII

In den Erläuterungen heißt es, periodische medizinische Untersuchungen an Menschen und Tieren hätten schädliche Wirkungen bei längerem Aufenthalt im elektrischen Feld von Höchstspannungseinrichtungen ergeben.

- 1) Das zentrale Nervensystem und das Kreislaufsystem werden vom elektrischen Feld negativ beeinflusst. Die Blutstruktur ändert sich. Junge Männer klagen über verringerte Sexualpotenz. Es besteht eine Abhängigkeit zwischen Beeinflussung und Größe der Feldstärke sowie der Aufenthaltsdauer im Feld.
- 2) Auch die Berührung von Teilen einer Anlage, die gegenüber dem Menschen eine Potentialdifferenz aufweisen, zeigt eine schädliche Wirkung, deren Intensität von der Dauer und der Amplitude des Entladungsstromes bzw. der Häufigkeit der Entladungen abhängig ist.

Solche Entladungen können Phasenänderungen im elektrischen Rhythmus des Gehirns verursachen und dadurch die Atmung und den Herzrhythmus stören. In geographisch höheren Lagen ist die Wirkung verstärkt.

Wurde die elektrische Feldstärke nicht gemessen, gilt als minimale Entfernung für unbegrenzte Aufenthaltsdauer: 20 m bei Hochspannungsanlagen von 400-500 kV, und 30 m bei Anlagen mit 750 kV.

Als Schutzmaßnahmen sehen die Vorschriften verschiedene Abschirmungsarten in Form von fixen oder tragbaren Schutzeinrichtungen sowie spezielle Kleidung z. B. aus leitendem Gewebe vor.

Einzelheiten über die medizinischen Untersuchungen sind bisher nicht bekannt.

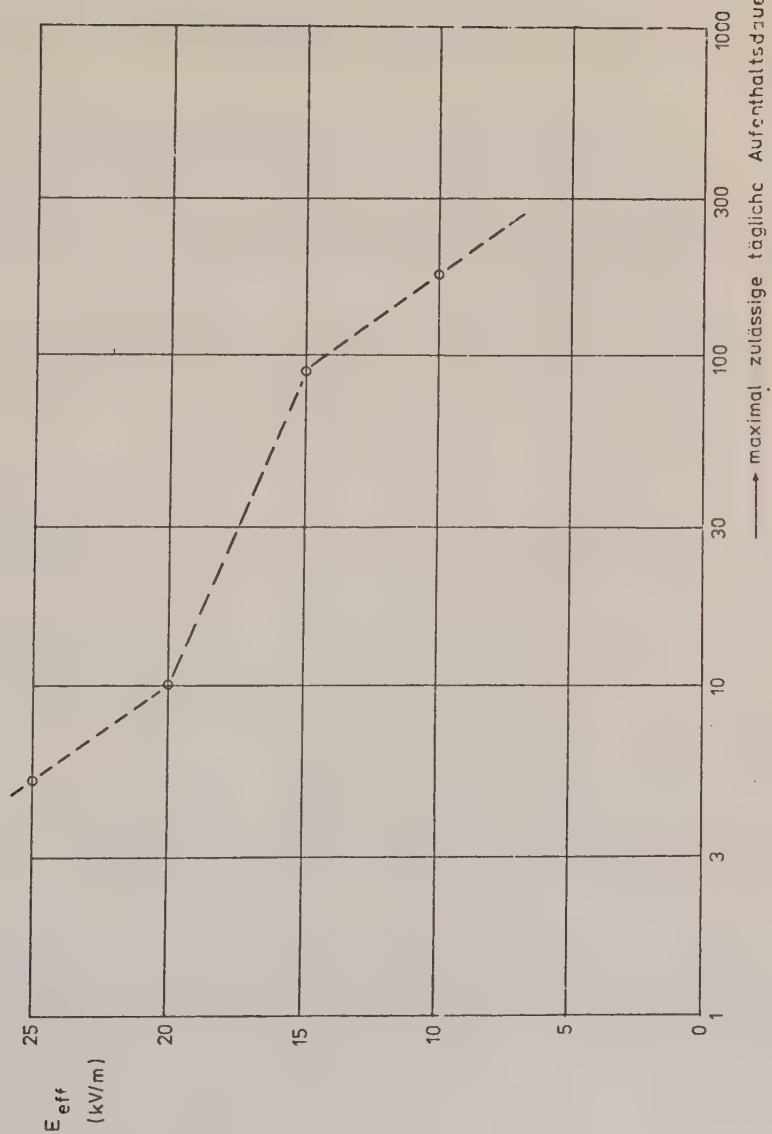


Abb. 9

IV Technische Feldberechnungen und Messungen zur Größenordnung der zur Diskussion stehenden Felder

Die Entwicklung und die in der Öffentlichkeit immer häufiger diskutierte Frage nach der möglichen Schädlichkeit von energietechnischen Feldern machten eine Überprüfung der vorhandenen Ergebnisse und eigene Untersuchungen erforderlich.

Vor Beginn der Untersuchungen war es zunächst nötig, die unter typischen Freileitungen auftretenden Feldstärken zu berechnen, um Anhaltspunkte für die Größenordnungen im Laborversuch zu erhalten.

JAKOB hat diese Berechnungen im Rahmen einer Diplomarbeit für die in der Tabelle (Tab. VIII) angegebenen Leitungstypen durchgeführt.

Ausgewählte Freileitungen

Leitungstyp	1 110-kV- Dreh- strom- Doppel- system	2 110-kV- Dreh- strom- Doppel- system	3 220-kV- Dreh- strom- Doppel- system	4 380-kV- Dreh- strom- Einfach- system	5 380-kV- Dreh- strom- Doppel- system	6 735-kV- Dreh- strom- Einfach- system	7 110-kV- Bahn- strom- Einfach- system	8 110-kV- Bahn- strom- Doppel- system	9 800-kV- Gleich- strom- Einfach- system
Leiteranordnung schematisiert									
Minimaler Bodenaßstand (m)	7,3	7,3	9,9	9,1	9,1	11,0	7,3	7,3	9,3

Effektive Bodenfeldstärken unter den ausgewählten Freileitungen

Leitungstyp	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E (kV/m) bei $a = 1$ m	1,6	2,0	3,3	8,1	7,2	12,1	0,7	2,2	2,5
E (kV/m) unter dem äussersten Leiter	1,0	1,0	2,0	7,7	5,4	12,5	2,0	1,2	11,9
Maximales E (kV/m)	1,6	2,0	3,3	8,1	7,9	12,6	2,3	2,2	12,4
Abstand a (m) für $E = 1$ kV/m	6	13	22	36	35	49	12	13	34
Abstand a (m) für $E = 0,25$ kV/m	18	25	40	58	75	78	22	23	54

Tab. VIII

UTMISCHI hat diese Berechnungen auf die in den USA konzipierten Höchstspannungsanlagen von 1100 und 1500 kV erweitert. Die erhaltenen Daten sind aus der folgenden Darstellung (Tab. IX) zu entnehmen:

	1100-kV Drehstrom-Einfachsystem	1500-kV Drehstrom-Einfachsystem
Leiteranordnung schematisiert		
Minimaler Bodenabstand	16,7 m	22,9 m
E (kV/m) bei a=1 m	11,6	15,4
Maximales E (kV/m)	12,5	17,1
Abstand a (m) für E=1 kV/m	ca. 78 m	über 100 m

Tab. IX

Kontrollrechnungen für die Feldstärken in 1,5 m Höhe über dem Boden ergaben annähernd die gleichen Werte. Es kann daher das Feld in Bodennähe als weitgehend homogen angesehen werden.

Tritt nun eine Person in dieses Feld, so bricht es infolge der relativ hohen Körperleitfähigkeit an der Person zusammen. Durch die hieraus resultierende Feldverzerrung kommt es einmal zu einer wesentlichen

Feldstärkeerhöhung am Kopf und zum anderen zu einem Verschiebestrom im Körper.

JAKOB berechnete, daß das Feld in Kopfhöhe den etwa 7,5-fachen Wert des ungestörten Feldes annimmt. Unsere Messungen an Testpersonen zeigten, daß dieser Wert annäherungsweise richtig ist. JAKOB führte auch eine Abschätzung der Verschiebestrome im menschlichen Körper und der dabei auftretenden Spannungen durch:

Nimmt man die Kapazität des Körpers zu etwa 10 pF an, so entsteht nach

$$I = U \cdot C$$

bei einer angelegten Spannung von 30 kV (Frequenz 50 Hz) ein Verschiebestrom von etwa 0,1 mA.

Betrachtet man den Körper als ein zylindrisches Gebilde mit einem Widerstand von ca. 10 Ω /cm, so ergibt sich eine Spannung von etwa 1 mV/cm. Da diese Größenordnungen denen der EKG- und EEG-Spannungen annähernd gleich sind, ist wegen der Überlagerungen kein auswertbares EKG oder EEG bei aufgeschaltetem Feld abzuleiten.

Es wurden eigene Untersuchungen über die Höhe der Feldstärken an verschiedenen Körperstellen bei stehenden und sitzenden Testpersonen durchgeführt.

Die Messungen erfolgten mit Hilfe einer kapazitiven Feldsonde, die eine Fläche von 50 cm^2 hatte.

In der Tabelle (Tab. X) ist die Höhe der Kopffeldstärke bei verschiedener Körpergröße angegeben. Die an der Deckenelektrode angelegte Spannung betrug 64 kV.

Höhe in cm	100	120	140	160	180
E (kV/m)	90	130	175	215	258

Tab. X

Wird das Feld durch mehrere im Raum anwesenden Personen gestört, so liegen die Werte für die einzelnen Testpersonen etwas niedriger.

Die Tabelle (Tab. XI) zeigt, wie sich die einzelnen Werte durch die Anwesenheit mehrerer sitzender Personen verändern. Demgegenüber stehen die Werte für das ungestörte Feld.

	ungest.	1 Person	2 Personen	3 Personen
Kopfhöhe 130 cm	17	155	150	145
Schulterhöhe 110 cm	14,4	45	40	40
Kniehöhe 60 cm	10,2	25	20	20

Tab. XI (Feldstärken in kV/m)

Der Ableit- bzw. Verschiebestrom betrug bei sitzenden Versuchspersonen im Mittel etwa 0,1 mA. Leichte Schwankungen ergaben sich aus den verschiedenen Körpergrößen. Die Personen waren durch eine Matte aus isolierendem Kunststoff gegen Erde isoliert, und über eine am Unterschenkel befestigte Elektrode an ein μ -Ampèremeter (Typ Digitavo der Fa. BBC) angeschlossen.

Ergebnis der Untersuchungen: Der Verschiebestrom ist die Summe aller auf der Körperoberfläche entstehenden Teilströme und linear abhängig von der Höhe des elektrischen Wechselfeldes.

V Versuchsbedingungen

a) Technische Anlagen

Für die Untersuchung biologischer Wirkungen energetischer Felder erwies sich das im Keller des Instituts für Hochspannungs- und Anlagentechnik befindliche Klima- und Kältelabor als geeignet. Der Raum ist durch einen unter der Wärmeisolierung verlegten Faraday'schen Käfig, bestehend aus einem Drahtgitter von 1 cm Maschenweite, vollkommen von Fremdeinflüssen abgeschirmt. Durch die eingebaute Klimaanlage können Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit auf einem konstanten Wert von 22 °C und 50 % rel. Feuchtigkeit gehalten werden. Somit wurden klimatische Schwankungen bis auf den Luftdruck, der vor jedem Versuch gemessen wurde, ausgeschaltet.

Der Klimaraum hat eine Größe von 6,45 x 5,15 m und eine Höhe von 4 m, und kann vom Steuerstand bzw. Meßraum durch eine Panzerglasscheibe zur Beobachtung der Testpersonen eingesehen werden.

Zur Verfügung stand eine von JAKOB, STEINBIGLER, WIESINGER und der Werkstatt des Instituts entwickelte Simulationsanlage, bestehend aus einer großflächigen Deckenelektrode und einem Hochspannungsteil.

- 1) Die Deckenelektrode besteht aus einem Drahtgitter von 1 cm Maschenweite, das mit Kunststoffschrauben auf einem PVC-Rahmen befestigt ist. Sie hat eine Größe von 2,5 x 2,5 m. Als Abschirmung ist an den Rändern ein Metallschlauch von 10 cm Durchmesser aufgeschoben. Die Elektrode ist mit 4 Hartpapierstäben von je 1 m Länge an einem geerdeten Aluminiumgestell so aufgehängt, daß ihr Abstand vom Boden 2,90 m beträgt. Ihr Rand ist auf allen Seiten mindestens 1 m von geerdeten Teilen entfernt.

Der Raum unter der Elektrode ist von dem dahinter liegenden Raum für den Hochspannungserzeuger durch drei Querholmen und ein Nylonnetz getrennt. Aus Sicherheitsgründen wurde auch unter der Elektrode ein Netz aufgespannt.

Die Elektrode sowie die zuführenden Teile sind sprühfrei ausgeführt, d. h. es sind keine Spitzen vorhanden, an denen es zu Koronaentladungen kommen könnte.

Energieverluste und unerwünschte Ionisierung sind dadurch auf ein Minimum beschränkt.

- 2) Das Kernstück des Hochspannungsteiles ist ein 100-kV-Prüftrafo. Die Spannung wird vom Trafo zu einem Erdungsschalter und von hier mit einem Aluminiumschlauch von 10 cm Durchmesser zur Deckenelektrode geleitet.

Die Anlage ist so konzipiert, daß jederzeit mit Hilfe zweier Gleichrichter und eines Glättungskondensators Gleichspannung gefahren werden kann.

Das Übersetzungsverhältnis des Prüftrafos beträgt:

$$U = \frac{110 \text{ kV}}{220 \text{ V}} = 455$$

- 3) Die Steuerung erfolgt mit Hilfe eines Stelltrafos. Die Spannung läßt sich von einem Steuerkasten aus stufenlos zwischen 0 und 100 kV bei 50 Hz, und 140 kV bei Gleichspannung regeln.

Es können jedoch auch mit Hilfe eines Umformersatzes variable Frequenzen zwischen 16 2/3 und 100 Hz erzeugt werden.

Die bei den Versuchen benutzten ungestörten Felder wurden unter Berücksichtigung der Feldstärkeberechnungen unter Freileitungen gewählt.

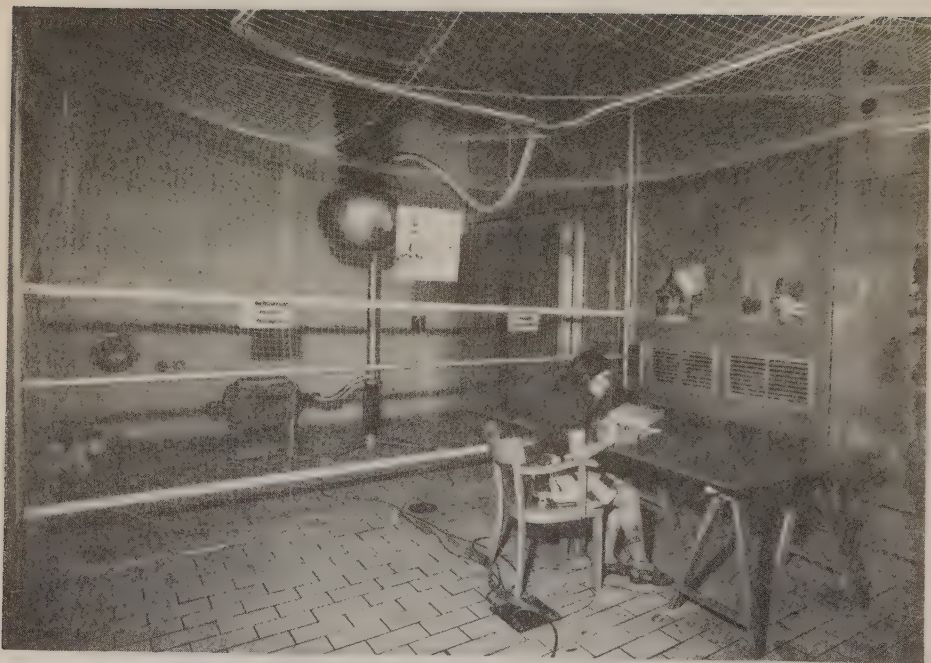


Abb. 10 Versuchsraum

b) Medizinische Untersuchungen

Im medizinischen Bereich galt es nunmehr, geeignete Geräte zu testen und zu installieren, die den besonderen Anforderungen genügen mußten.

Es war geplant, Reaktionsverhalten, EKG, EEG, Blutdruck und Puls der einzelnen Testpersonen zu überwachen und aufzuzeichnen.

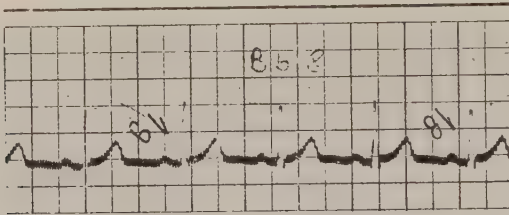
Für die Registrierung des Reaktionsverhaltens stand ein "Wiener Determinationsgerät" der Fa. Schuhfried zur Verfügung. Dieses Gerät wird bei verschiedenen psychologischen Untersuchungen mit Erfolg verwendet, u. a. auch zur Feststellung der Verkehrstüchtigkeit. Der Proband hat im Versuch die Aufgabe, verschiedene optische und akustische Reize durch Drücken eines entsprechenden Knopfes oder zweier Fußtasten möglichst schnell aber korrekt zu quittieren. Die Zeitfolge und die Anzahl der gegebenen Reize können vom Operator beliebig variiert werden.

Für die Versuche wurde eine verhaltensabhängige Reizgabe bei einer Zeiteinheit von 80 msec. ausgewählt.

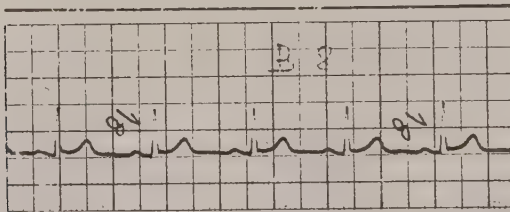
Das EKG wurde in Testversuchen mit einem Batteriegerät vom Typ Hellige "Simpliscriptor T 20" abgenommen.

Im Versuch unter Hochspannung zeigte sich, daß durch das verwendete 50-Hz-Feld schon bei geringer Feldstärke starke Einstreuungen auftreten, die sich mit

steigender Feldstärke rasch verstärken und die Kurve der Herzströme verfälschen.



EKG-Kurve bei zugeschaltetem Feld



EKG-Kurve bei abgeschaltetem Feld

Die Spannung an der Elektrode betrug etwa 15 kV. Ein im Gerät eingebautes 50-Hz-Filter war eingeschaltet.

Die Abschirmung der Meßleitungen brachte nur eine unbedeutende Verbesserung.

Ein Test mit einem von einem Faraday'schen Käfig umgebenen Gerät, das eine Normkurve erzeugt, zeigte,

daß die geschirmten Leitungen absolut dicht waren. Die 50-Hz-Überlagerung war verschwunden.

Dies läßt darauf schließen, daß die Störfrequenz durch Verschiebestrome im Körper der Versuchsperson eingeschleift wird.

Eine Umstellung von der Extremitätenableitung auf die Brustwandableitung unter Verwendung von drei Klebeelektroden, sowie eine gute Erdung der Testperson brachten eine Verbesserung des Ergebnisses.

Elektrode 1 lag in Höhe des 1. Intercostalraumes rechts parasternal.

Elektrode 2 wurde im 5. ICR etwa auf der vorderen Axillarlinie angebracht (Herzspitze).

Elektrode 3 (indifferent) lag rechts parasternal in Höhe des Rippenbogens.

Diese Ableitung hat sich gut bewährt und wurde in allen weiteren Versuchen beibehalten.

Die zur Auswertung verwendeten Daten und Kurven wurden mit einem "Helcoscriptor HE 17" geschrieben.

In der Erprobung zeigte sich, daß durch das Zwischenschalten eines Trenntrafos die aus dem Versorgungsnetz eingeschleiften 50-Hz-Überlagerungen völlig verschwanden.

Der Schreiber war bestückt mit einem Herzfrequenzmonitor, einem Verstärker "EE" und einem Hautwiderstandsmesser "19". Der Papiervorschub betrug bei allen Registrierungen 25 mm/sec.

Der Herzfrequenzmonitor konnte wahlweise auf EKG-Kurve oder Pulscurve umgestellt werden. Die Pulsfrequenz konnte außerdem jederzeit an einem Anzeigeelement und einer Kontrollampe abgelesen bzw. abgezählt werden. Für die Abnahme des peripheren Pulses standen photoelektrische Aufnehmer für Finger und Ohr zur Verfügung.

Der Vorverstärker "EE" diente zur Überwachung und Registrierung des Elektroenzephalogrammes. Die Zeitkonstante lag bei 0,1 und der Filter wurde auf 35 eingestellt. Auch hier wurden wieder drei Elektroden verwendet. Die beiden Abnahmeelektroden waren in den ersten Versuchsreihen links und rechts frontal angebracht. Diese Anordnung erwies sich als ungünstig, da hier vorwiegend β -Wellen registriert werden. Nach Meinung der Neurologen ist unter Feldeinwirkung eher eine Änderung des α -Rhythmus zu erwarten und auch leichter auszuwerten.

In den weiteren Versuchen (Serie D,E) wurden daher die Elektroden zwischen C 3 und P 3 sowie zwischen C 4 und P 4 gelegt (Bezeichnungen

nach dem Ableitungspunktschema nach JASPER).
Die indifferente Elektrode war am Ohr angebracht.

Auch hier zeigte sich in der Erprobung, daß ein an der Deckenelektrode angelegtes Feld die Kurven verfälscht. Sowohl ein aufgeschaltetes 50-Hz-Feld als auch ein $16 \frac{2}{3}$ -Hz-Feld konnten im Test jeweils als überlagernde Frequenz identifiziert werden. Die Amplitude war abhängig von der jeweils angelegten Spannung.

Es wurden Überlegungen angestellt, welche Möglichkeiten einer Messung unter Feldeinfluß bestehen. Ein Filter zum Ausfiltern der Störfrequenz erwies sich als unzumutbar, da bei den Versuchen verschiedene Frequenzen zur Verwendung kommen sollten. Außerdem müßte eine extrem schmale Bandbreite gefordert werden, die nur bedingt zu erreichen wäre, und zwar durch eine aufwendige Apparatur unter Verwendung eines großen Quarzkristalles.

Da die Frequenz der Herz- und Gehirnströme den technischen Frequenzen, besonders im Bereich von $16 \frac{2}{3}$ Hz sehr nahe liegt, könnte es sehr leicht zu einer Verstümmelung der aufgezeichneten Kurven kommen.

Denkbar wäre auch eine Kompensationsschaltung, die die verwendete Frequenz um 180° phasenverschoben auf das Eingangssignal des EKG- und EEG-Monitors eingibt.

Weiter gäbe es die Möglichkeit, die Meßelektroden möglichst auf Äquipotentialflächen am Körper zu befestigen. Auf diese Weise könnte das Abgreifen von störenden Potentialdifferenzen, die durch das elektrische Feld entstehen, vermieden werden.

Der Hautwiderstandsmesser erwies sich als nicht funktionstüchtig. Bei kurzgeschlossenen Elektroden wurde noch ein Widerstand von einigen 10 K Ω gemessen. Für die Versuche als nicht geeignet erwiesen sich auch die verwendeten Fingerelektroden. Waren diese trocken aufgebracht, so zeigte sich infolge von Schweißbildung ein veränderter Widerstand.

Diskutiert wurde, ob nicht großflächigere Elektroden, die etwa an der Schulter des Probanden angebracht werden, und deren Übergangswiderstand durch Elektrodencreme niedrig gehalten wird, effektiver seien.

Zur Verfügung stand weiterhin ein Oszillograph vom Typ "MS 190", in den wahlweise der EKG- oder EEG-Monitor eingeschoben werden konnte. Somit waren eine Überwachung und Tests ohne Benutzung des Schreibers möglich.

Der Blutdruck wurde manuell nach RIVA-ROCCI gemessen.

Für die statistische Auswertung der erhaltenen Daten stand ein Rechencomputer der Fa. Hewlett & Packard zur Verfügung. Ein Teil der Daten wurde

auf Lochkarten gedruckt und durch den Großrechner TR 440 im Leibnitz-Rechenzentrum der Bayerischen Akademie der Wissenschaften aufbereitet.

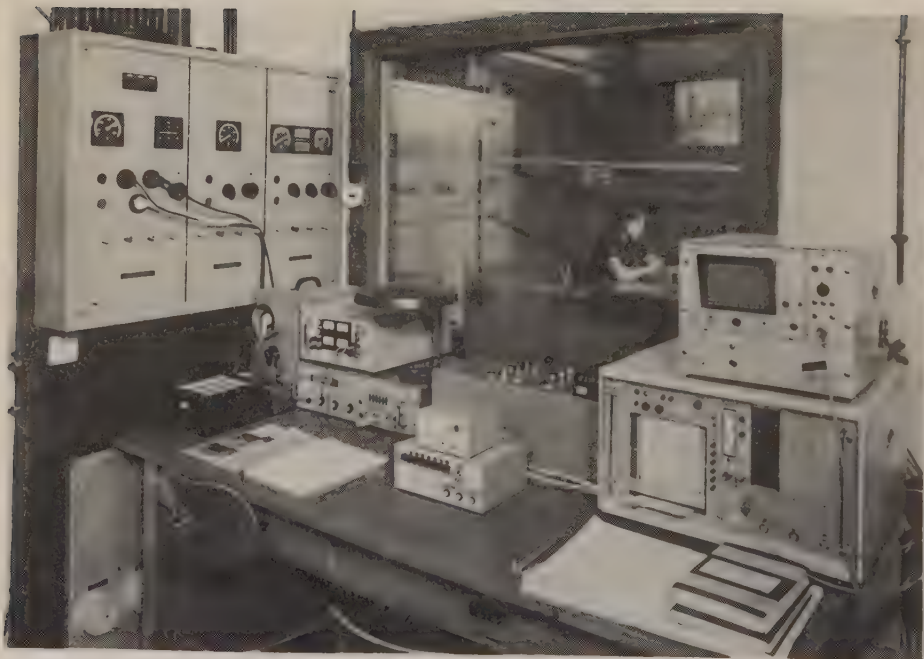


Abb. 11 Meß- und Steuereinrichtung

VI Die Untersuchungsserien und ihre Ergebnisse

Um Erfahrungen über die Methodik zu sammeln, wurde zunächst eine umfangreiche Vorversuchsserie durchgeführt.

Von insgesamt 10 Testpersonen, die durch den Studentenschnelldienst an uns verwiesen wurden und deren Durchschnittsalter 26 Jahre betrug, wurden 6 Personen einem Feld mit $E = 1 \text{ kV/m}$ und 15 kV/m mit einer Frequenz von 50 Hz ausgesetzt (die angegebenen Feldstärken beziehen sich jeweils auf das ungestörte Feld in Kopfhöhe, das sind 130 cm). Das Verhalten von 4 Probanden wurde in einem Feld mit $E = 1 \text{ kV/m}$ und 7 kV/m mit einer Frequenz von $16 \frac{2}{3} \text{ Hz}$ registriert.

Wie auch in allen weiteren Versuchen wurden zu je 50 % männliche und weibliche Testpersonen eingesetzt.

Zu Beginn des Versuches wurde dem Probanden eine Adaptationszeit von ca. 25 min. gewährt. Diese Zeit wurde von den Betreuern zur technischen Vorbereitung genutzt (Anlegen der Elektroden, Kurzanamnese, Einstellung der Geräte u. ä.).

Ferner wurde versucht, den Probanden auf psychologischem Wege die Angst vor der Fremdartigkeit der Umgebung zu nehmen.

Um Störgeräusche der Anlage zu überdecken, sowie zur Entspannung und Auflockerung wurde während der gesamten Versuchszeit ein neutrales Musikprogramm eingeschaltet. Soweit die Versuchsperson nicht Testaufgaben durchzuführen hatte, konnte sie lesen.

Um eine psychische Beeinflussung auf die Meßergebnisse zu vermeiden, wurden die Probanden über die Art und den Zeitablauf der Versuche weitgehend im unklaren gelassen. Erklärt wurde lediglich die Funktion der medizinischen Geräte.

Von allen Testpersonen wurde zu Beginn der Versuche ein Untersuchungsprotokoll angefertigt und eine Kurzanamnese erstellt.

Das Muster eines solchen Untersuchungsprotokolles ist umseitig eingefügt.

Etwa 5 min. vor Aufschalten des Feldes wurden die Parameter EKG, EEG, Puls, Blutdruck und dreimal die Reaktionszeit in der bereits beschriebenen Weise gemessen und registriert.

Sodann wurde ein schwaches elektrisches Wechselfeld von 1 kV/m angelegt (Frequenz = 50 bzw. 16 $\frac{2}{3}$ Hz).

Nach 10 min. Feldeinwirkung wurden sämtliche eingangs angeführten Parameter registriert.

U N T E R S U C H U N G S P R O T O K O L L

Dat.: _____ Serie: _____

Name:

Geb.:

Vorname:

Männl./weibl.

Beruf:

Bei Studenten Fachrichtung:

Anschrift:

Kurzanamnese:

Vater:

Mutter:

Größe: cm. Gewicht: kg.

Gesundheitszustand:

Herzbefund: EKG:

Puls: /min. RR:

ZNS: Psyche:

EEG:

Hautwiderstand: kO Hauttemperatur: °C

Versuchsbedingungen:

Raumtemp.: °C Spannung: kV

Luftfeucht.: % Frequenz: Hz

Luftdruck: mmHg Feldstärke: kV/m

Subjektives Befinden: a) zu Beginn d. Vers.:

b) zu Ende d. Vers.:

Nach 20 min. und nach 30 min. wurde nur EKG und EEG geschrieben.

Nach 35 min. wurden wieder sämtliche Parameter registriert.

Nach 45 min. wurde das Feld abgeschaltet und sofort EKG und EEG geschrieben.

10 min. nach Abschalten des Feldes wurden wieder alle Parameter berücksichtigt.

15 min. nach Abschalten des schwachen Feldes wurde nunmehr ein stärkeres Feld aufgeschaltet (15 kV/m bei 50 Hz und 7 kV/m bei $16 \frac{2}{3}$ Hz), und das Programm in gleicher Zeitfolge wiederholt.

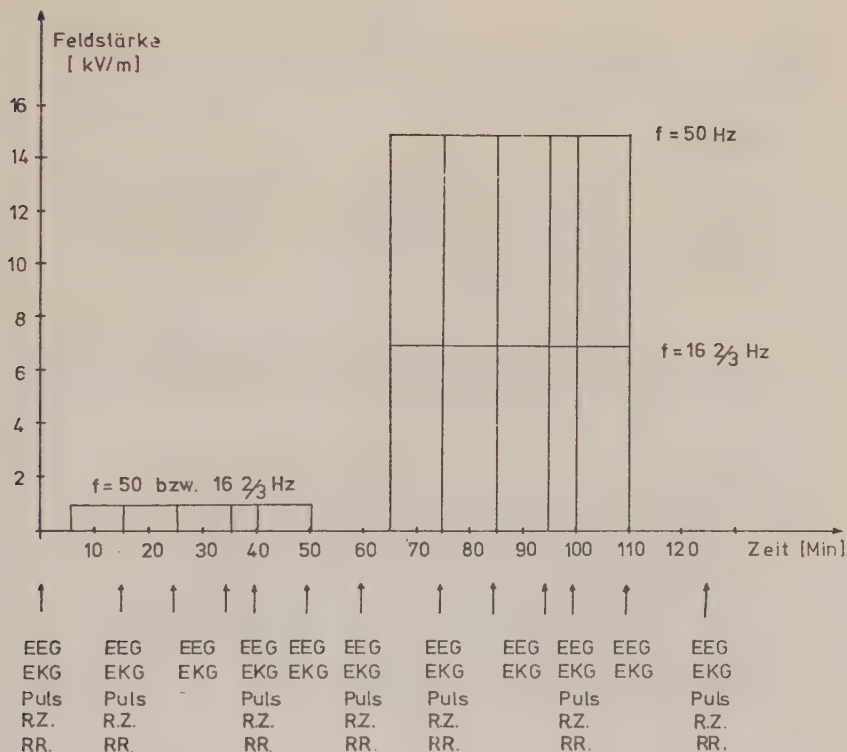
Um eine Feldfrequenzstörung zu vermeiden, wurde das Feld während der Registrierung von EKG und EEG kurzzeitig abgeschaltet (ca. 5 sec.).

Siehe dazu die Darstellung Abb. 12.

Während der gesamten Versuchsdauer, ca. 2 $\frac{1}{4}$ Stunden, wurde die Ionenkonzentration im Testraum fortlaufend mit einem von EICHMEIER entwickelten und zur Verfügung gestellten Ionenmeßgerät registriert.

Die Raumtemperatur lag wie bei allen weiteren Versuchen bei $22,5^{\circ}\text{C}$ und die Luftfeuchtigkeit betrug stets $\pm 50\%$.

(A)



Versuchsprogramm

SERIE (A)

Abb. 12

Zu den einzelnen Parametern:

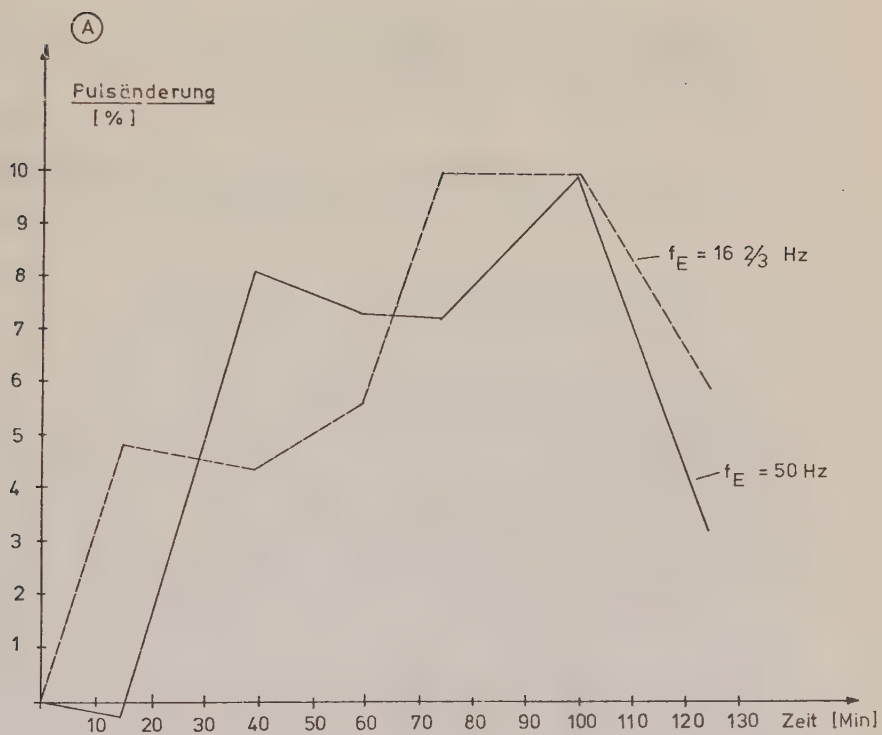
a) Puls:

Errechnet wurde die prozentuale mittlere Pulsänderung bezogen auf den mittleren Pulsanfangswert bei 50 bzw. 16 2/3 Hz.

$$\text{P.m.Pulsänderung} = \frac{\text{mittl.Puls}(\text{Zeit}=0) - \text{mittl.Puls}(\text{Zeit})}{\text{mittl.Puls}(\text{Zeit}=0)} \times 100$$

Wie aus den Kurven zu entnehmen ist, handelt es sich um einen relativ kontinuierlichen Abfall um etwa 10 %, der durch einen gewissen Sedierungseffekt erklärt werden kann. Der erneute Anstieg am Schluß dürfte aus der Erkenntnis des Probanden, daß der Versuch in wenigen Minuten beendet ist, herrühren.

Die folgenden Kurven (Abb. 13) zeigen den Kehrwert der mittleren Pulsänderungen.



SERIE (A)

Abb. 13

b) Blutdruck:

Errechnet wurde die prozentuale mittlere Blutdruckänderung jeweils sowohl systolisch als auch diastolisch bei 50 bzw. 16 2/3 Hz.

$$\text{P.m.Blutdruckänderung} = \frac{\text{m.Blutdr.}(\text{Zeit}=0) - \text{m.Blutdr.}(\text{Zeit})}{\text{m.Blutdr.}(\text{Zeit}=0)} \times 100$$

Bei Betrachtung der Kurven (Abb. 14) fällt der Abfall des systolischen Wertes um 11 % bei 16 2/3 Hz auf. Bei 50 Hz ist keine nennenswerte Änderung festzustellen. Dieser Befund kann nur im Vergleich zum 50-Hz-Feld festgehalten werden. Es muß einer späteren Untersuchung vorbehalten bleiben zu klären, ob bei 16 2/3 Hz andere physiologische Reaktionen auftreten wie bei 50 Hz, was im Hinblick auf die Nähe zu den natürlichen Feldern zwischen 1 und 15 Hz und den in diesem Bereich gemachten Beobachtungen (siehe Literaturhinweise) möglich wäre. In dieser Arbeit soll zunächst das 50-Hz-Feld betrachtet werden.

(A)

- 61 -

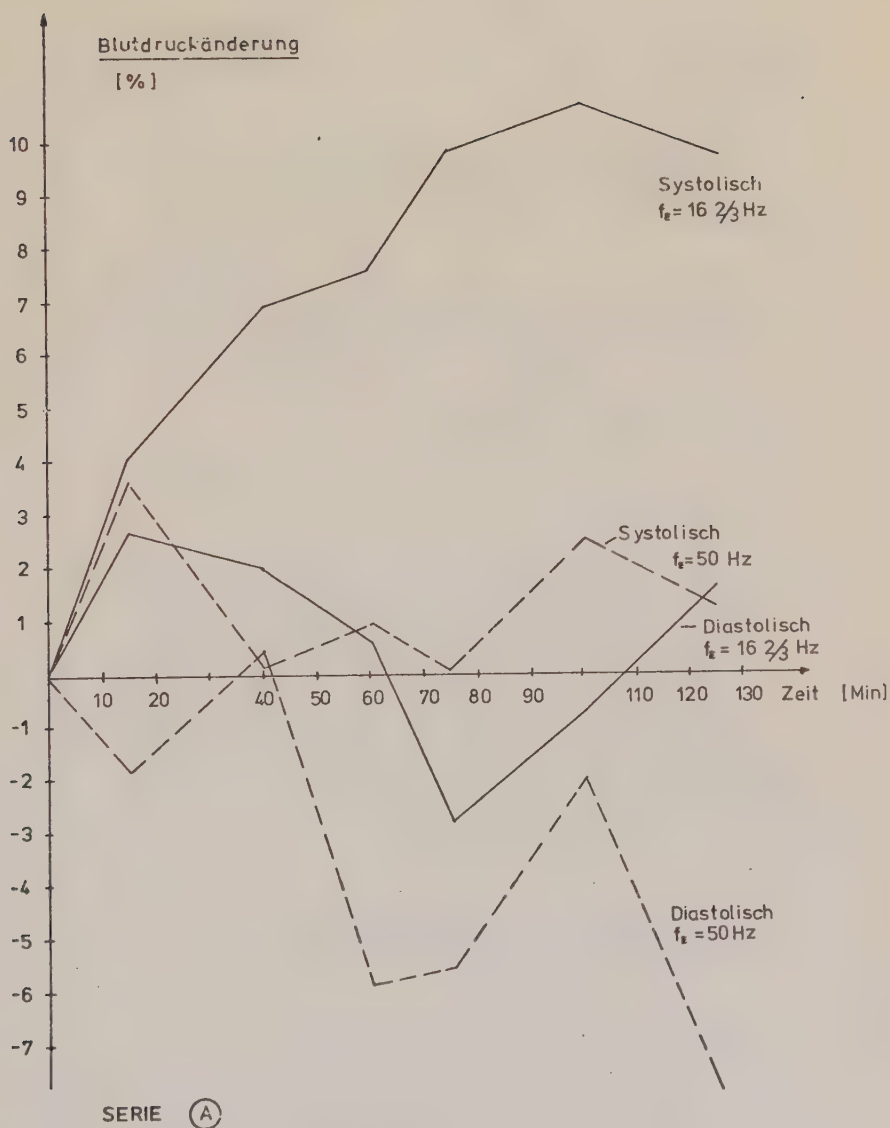


Abb. 14

c) Reaktionsverhalten:

Durchgeführt wurde das Programm R 1. mit dem schon beschriebenen "Wiener Determinationsgerät".

Der Proband hatte 80 sec. Zeit, möglichst viele Signale sowohl optischer als auch akustischer Art zu erkennen und darauf zu reagieren. Durch die richtige Beantwortung wurde sofort das nächste Signal ausgelöst.

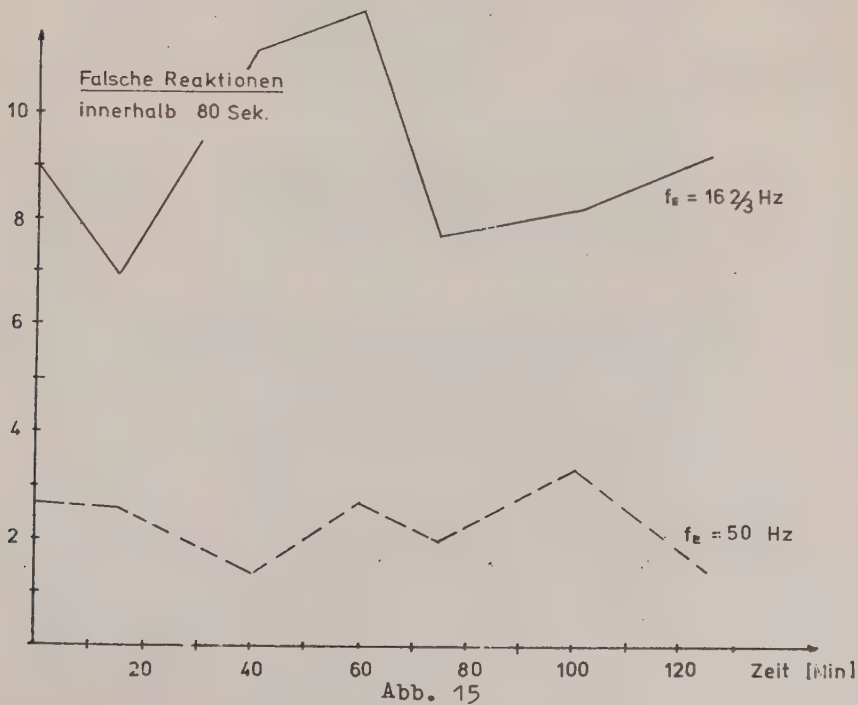
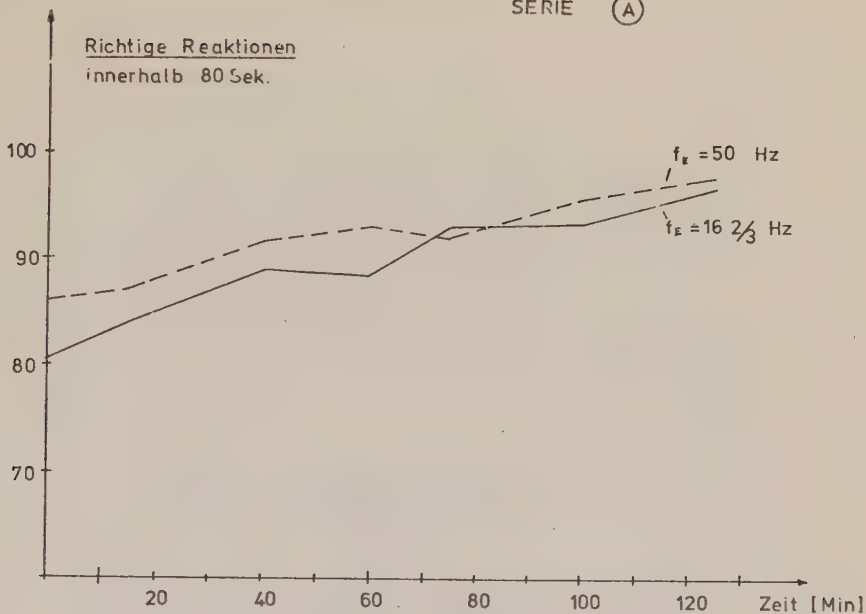
Es wurden sowohl richtige als auch falsche Reaktionen registriert.

Der aus den Kurven ersichtliche Anstieg der Anzahl der richtigen Reaktionen läßt sich durch einen gewissen Trainingseffekt erklären.

Der relativ hohe Pegel der falschen Reaktionen bei $16 \frac{2}{3}$ Hz ist im wesentlichen wohl aus der mangelnden Koordinationsfähigkeit einer einzelnen Testperson zu verstehen.

Die Abb. 15 zeigt die gemittelten richtigen und falschen Reaktionen innerhalb 80 sec.

SERIE (A)



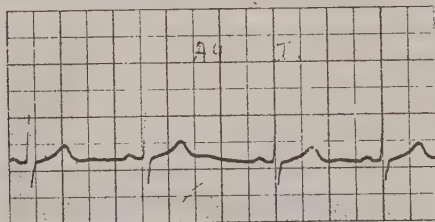
d) EKG:

Die einzelnen Kurven wurden nach der zeitlichen Reihenfolge ihrer Registrierung parallel ausgerichtet und miteinander verglichen.

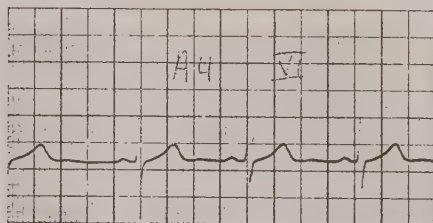
In keiner der Aufzeichnungen konnte eine beachtenswerte Veränderung im Verlauf des Versuchs festgestellt werden, bis auf die Frequenz.

Die folgenden Kurven stellen eine Auswahl aus einem Test dar (verwendete Frequenz = 50 Hz).

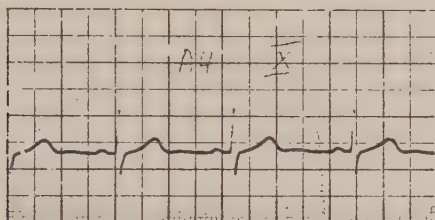
I.) EKG zu Beginn des Versuches:



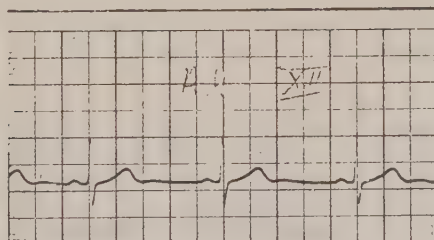
II.) Nach Abschalten des schwachen Feldes:



III.) Während des starken Feldes:



IV.) Nach Abschalten des starken Feldes:



Zur Sicherheit wurden systematisch für jede zweite Herzaktion die Abstände R - R, R - S und S - T ausgemessen und verglichen. In den Kurven stellt sich jeweils die relative mittlere Änderung dar. Aus der Kurve (Abb. 16) für die Strecke R - R ist noch einmal die Abnahme der Herzfrequenz ersichtlich. Vergleiche Abb. 16 - 18.

SERIE (A)

EKG Strecke R-R

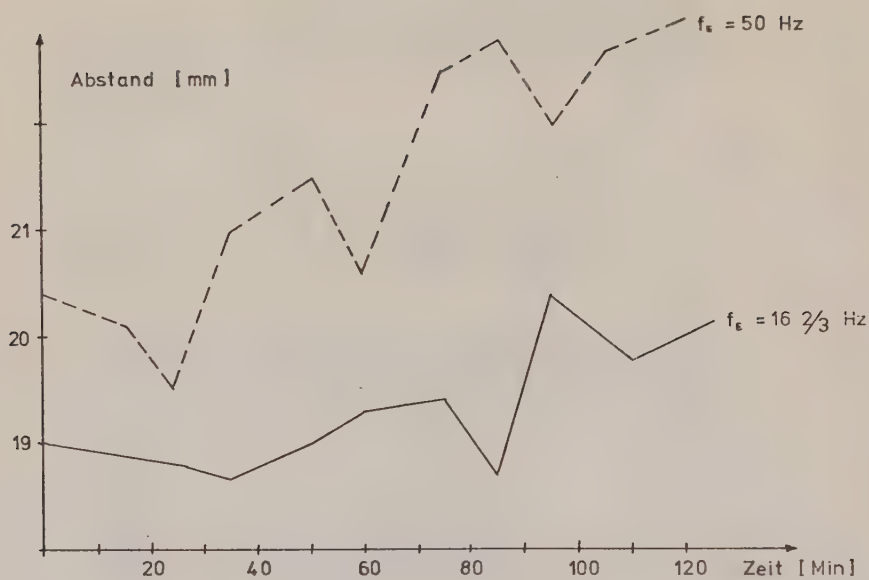


Abb. 16

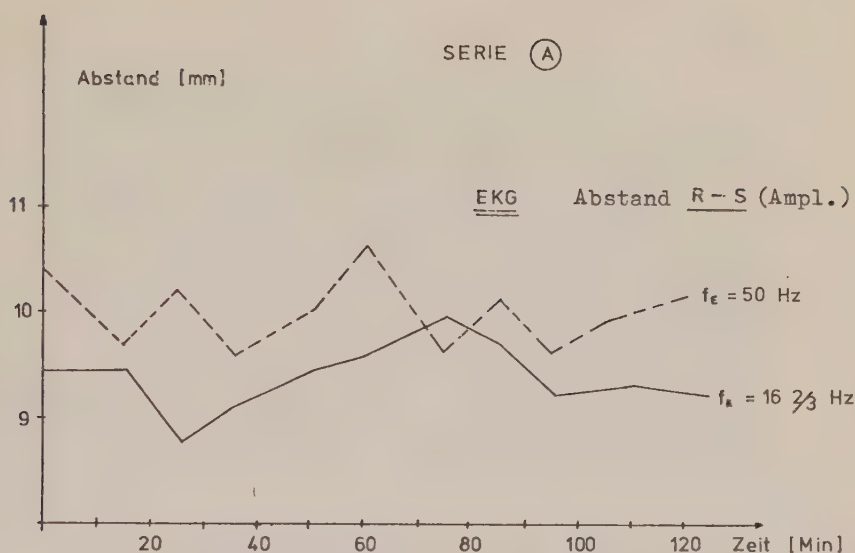


Abb. 17

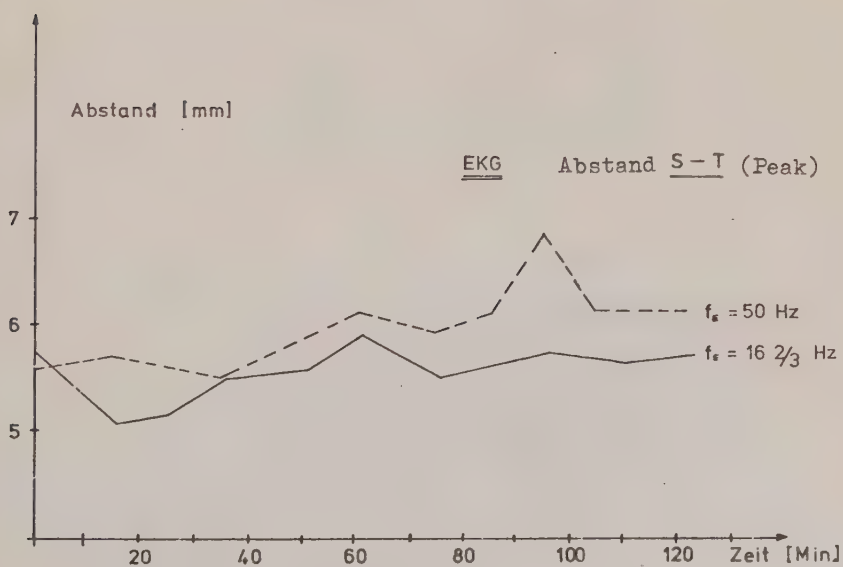
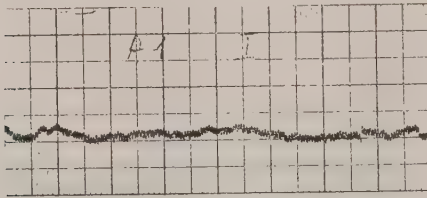


Abb. 18

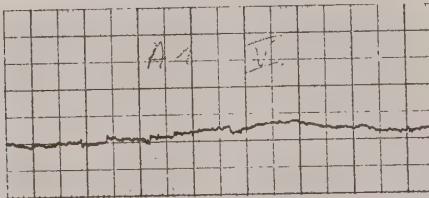
e) EEG:

Auch diese parallel zum EKG aufgenommenen Kurven wurden miteinander verglichen. Da hier noch die Frontalableitung Verwendung fand, sind die Aufzeichnungen teilweise schlecht zu vergleichen, da die β -Wellen oftmals durch die durch Muskelaktionen bedingten Kurvenanteile verfälscht wurden. Ausgemessen wurde hier die mittlere doppelte Amplitude und die mittlere sichtbare Periode pro 5 mm (Abb. 19 und 20). Unter Berücksichtigung der Fehlerquellen und des Versuchsablaufs zeigte sich im Verlauf keine Beeinflussung.

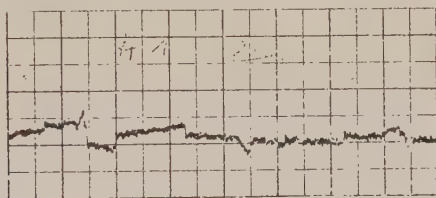
I.) EEG-Kurve (Frontalableitung) zu Beginn des Versuches:



II.) Kurve nach Abschalten des schwachen Feldes:



III.) Kurve nach Abschalten des starken Feldes:



Das Ergebnis der Frequenz- und Amplitudenanalyse ist aus den folgenden Kurven zu entnehmen.

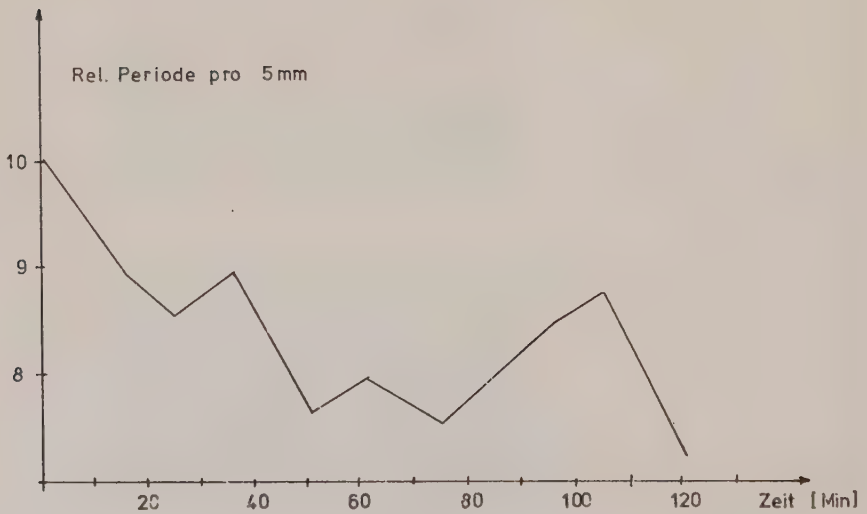
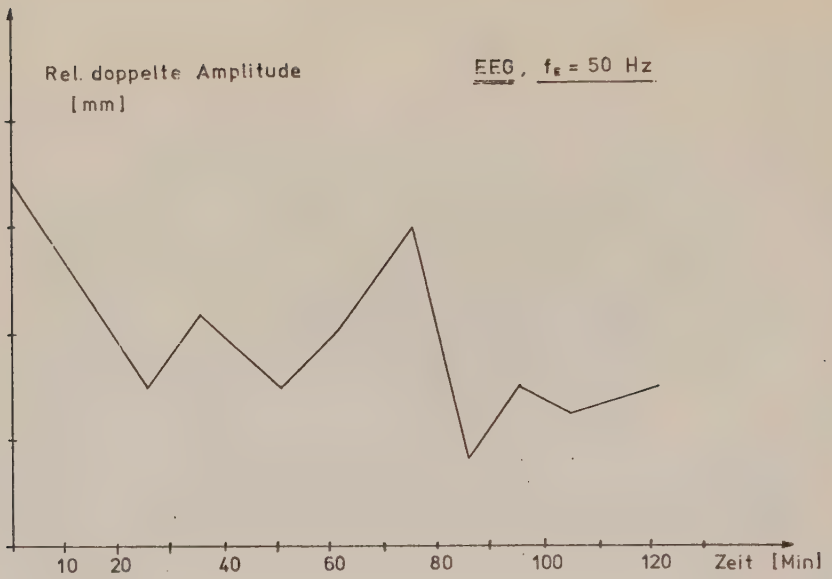
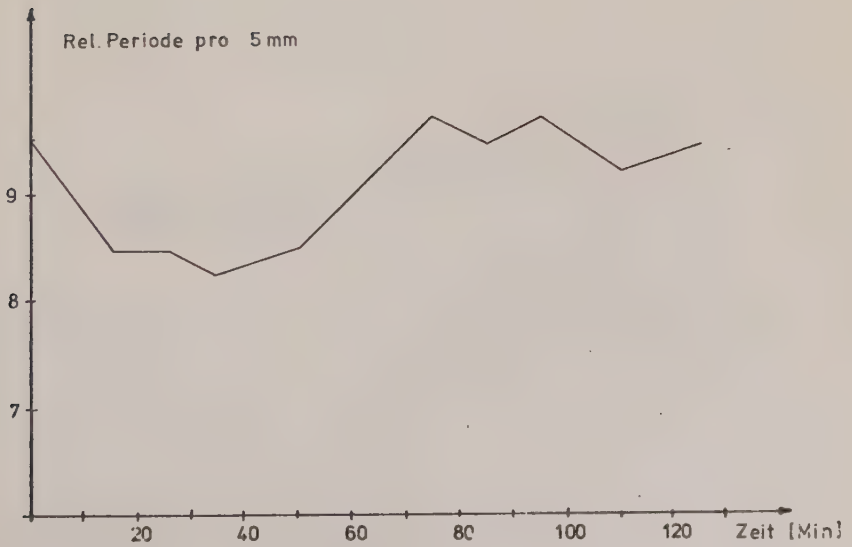
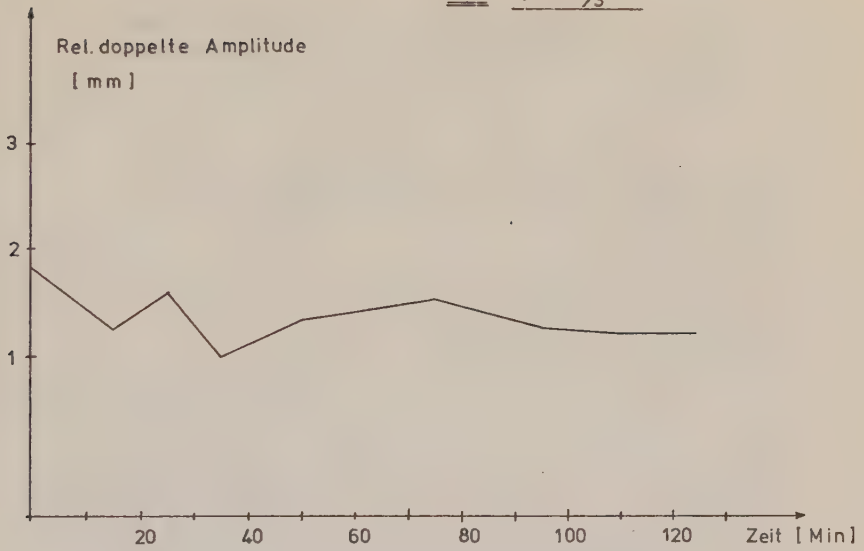


Abb. 19

EEG, $f_{\epsilon} = 16 \frac{2}{3}$ Hz



- f) Auf die durchgeführten Ionenmessungen und deren Bedeutung soll an anderer Stelle eingegangen werden.

Die zweite Versuchsserie unterscheidet sich in wesentlichen Punkten von der vorangegangenen Serie.

Es wurde festgestellt, daß sowohl die Zeiten der Nichtbelastung als auch die Meßhäufigkeit den Anforderungen nicht genügten.

Ferner schien eine Trennung der Reaktionszeitmessungen von der Registrierung der anderen Parameter angebracht, da möglicherweise eine psychische Beeinflussung die Werte für EKG, EEG, Puls und Blutdruck verfälscht. Nach einer Reaktionsverhaltensmessung in der durchgeführten Form scheint eine psychische und physische Normalisierung erst nach 10 Minuten einzutreten.

Die Zeitabläufe wurden wie folgt geändert:

1) Vormittagsprogramm:

Versuchsbeginn 8.30 Uhr

1/2 Stunde Vorbereitungszeit + erste Messung
aller Parameter

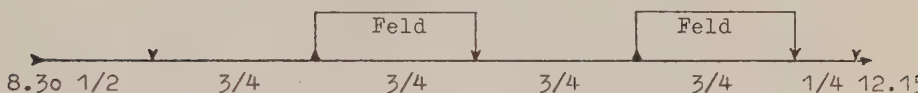
3/4 Stunde Nullwert

3/4 Stunde Feldbelastung

3/4 Stunde Nullwert

3/4 Stunde Feldbelastung

1/4 Stunde für eine letzte Meßserie und
Abnahme der Elektroden
Ende des Versuches 12.15 Uhr



Puls, EKG und EEG wurden alle 5 Minuten registriert,
der Blutdruck alle 15 Minuten.

2) Nachmittagsprogramm:

Versuchsbeginn 14.00 Uhr

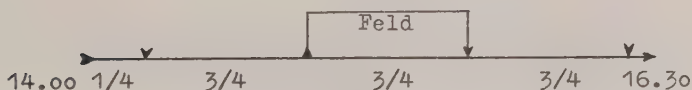
15 min. Vorbereitungszeit mit Erklärung + einer
Testserie

3/4 Stunde ohne Feld

3/4 Stunde mit Feld

3/4 Stunde ohne Feld

Ende des Versuches 16.30 Uhr



Siehe auch Abb. 21.

⑧

SERIE (B)

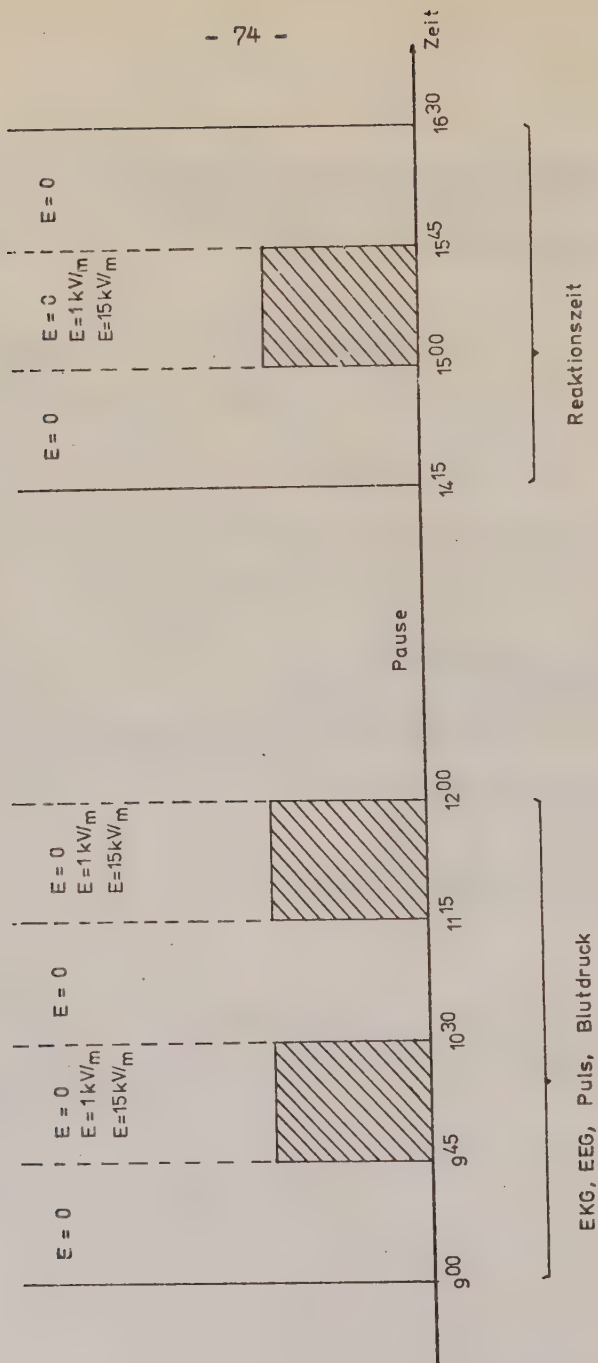


Abb. 21

EKG, EEG, Puls, Blutdruck

Es wurde nur die Reaktionszeit gemessen. Das Wiener Determinationsgerät wurde durch eine einfache Versuchsanordnung ersetzt. Der Proband hatte vor sich ein Kästchen mit einer Signallampe und einer Taste. Auf Zuruf des Operators hatte er Zeige- und Mittelfinger leicht auf die Taste zu legen und sich auf das Aufleuchten der Signallampe zu konzentrieren. Der Versuchsleiter konnte nun durch Knopfdruck die Lampe und eine mit ihr gekoppelte schnellaufende elektrische Uhr auslösen. Durch Drücken der Taste wurde die Uhr gestoppt und die Signallampe zum Erlöschen gebracht. Registriert wurde die Zeit zwischen dem Aufleuchten der Lampe und der Reaktion durch Druck auf die Taste.

Alle 5 min. wurden 5 Messungen hintereinander durchgeführt. Die Zeitspanne zwischen den einzelnen Messungen einer Serie wurde vom Operator beliebig gewählt und lag zwischen 1 und 5 sec. Im Falle einer offensichtlichen Unkonzentriertheit wurde ein Versuch zugegeben.

Es wurde weiterhin festgelegt, daß mit jedem Probanden ein Blindversuch durchgeführt werden sollte. Das heißt, der erste Versuch wurde nach dem bereits beschriebenen Zeitplan ohne jegliche Feldbelastung durchgeführt.

Es wurde somit ermöglicht, den individuellen Tagesleistungs- und Verhaltensgang zu berücksichtigen und einen Vergleich mit dem Verhalten unter Feldbelastung herzustellen.

Am zweiten Versuchstag wurde ein schwaches Feld mit 1 kV/m aufgeschaltet, und am dritten Tage ein starkes Feld mit 15 kV/m.

Durch Einführung des O-Wertes war auch gewährleistet, daß ein psychologisches Moment (Fremdartigkeit des Raumes und der Meßanordnungen) unter Feldbelastung bereits weitgehend ausgeschaltet war.

Diese Testserie wurde ebenfalls mit 10 Personen durchgeführt. Zu den einzelnen Parametern:

a) Puls:

Der Puls wurde hier nicht mit Hilfe der Fotozelle abgenommen, sondern direkt über den EKG-Impuls. Die Probanden sollten nicht durch eine Überzahl von Meßleitungen behindert oder irritiert werden.

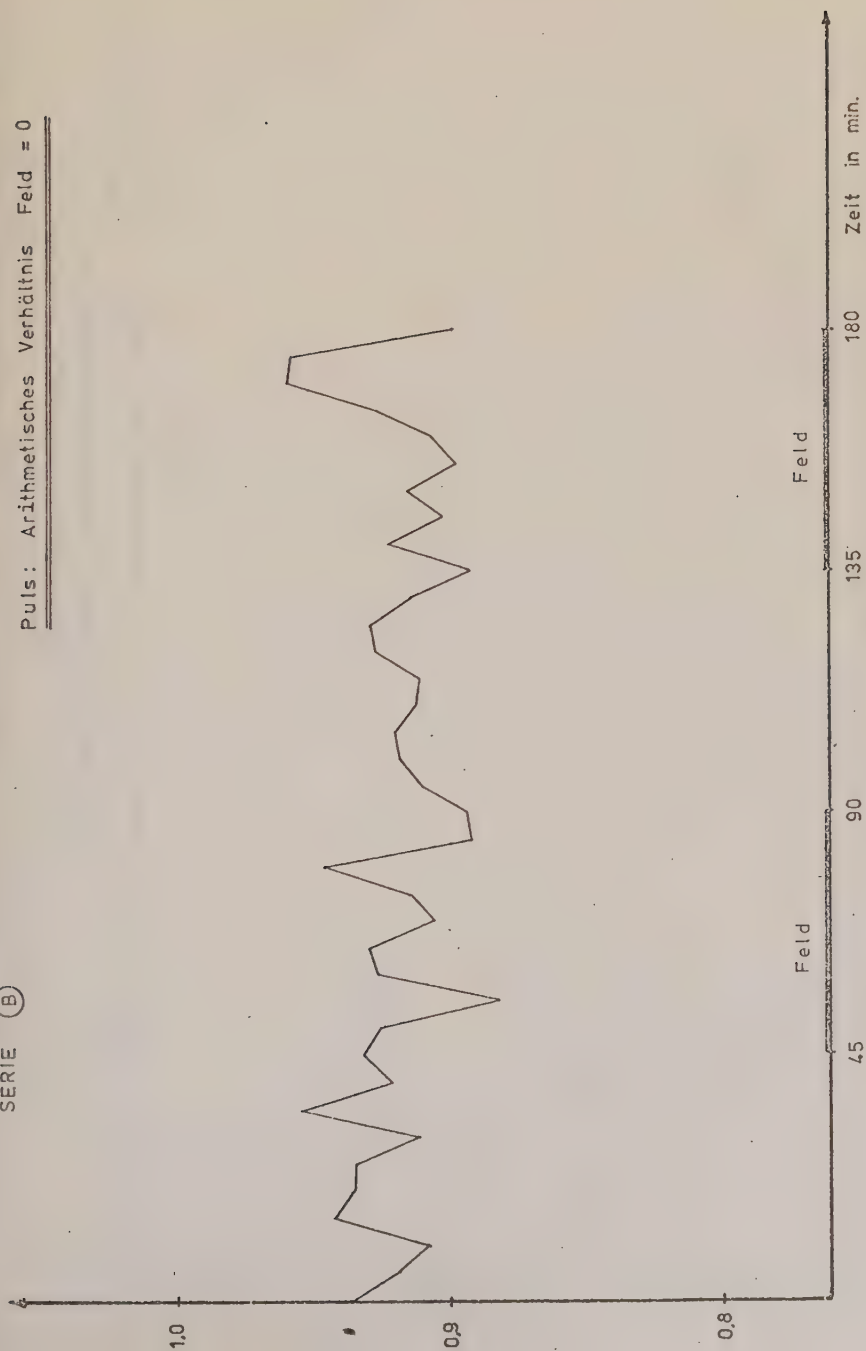
Aus der Errechnung des arithmetischen Verhältnisses ist ein konstanter Gang ersichtlich.

Siehe die Darstellungen Abb. 22 - 24.

Der leichte Abfall des Pulses kann auch hier als normal angesehen werden. Kontrollausmessungen der Strecke R - R des geschriebenen EKG's stimmen mit den durch den Monitor angezeigten Frequenzen überein.

SERIE (B)

Puls: Arithmetisches Verhältnis Feld = 0



Feld

Zeit in min.

Abb. 22

SERIE (B)
Puls: Arithmetisches Verhältnis Feld ≈ 1 kV/m

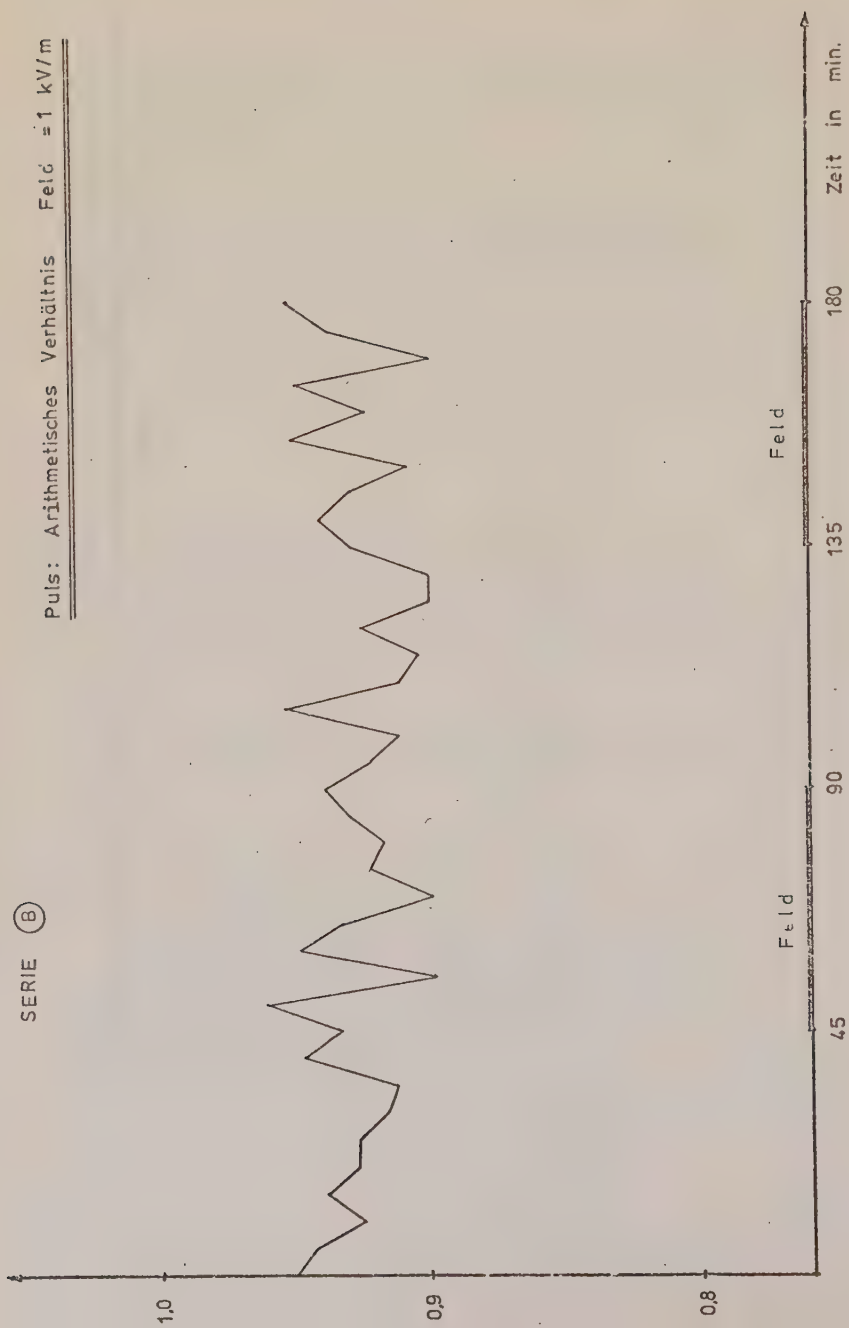


Abb. 23

SERIE (B)

Puls: Arithmetisches Verhältnis Feld = 15 kV/m

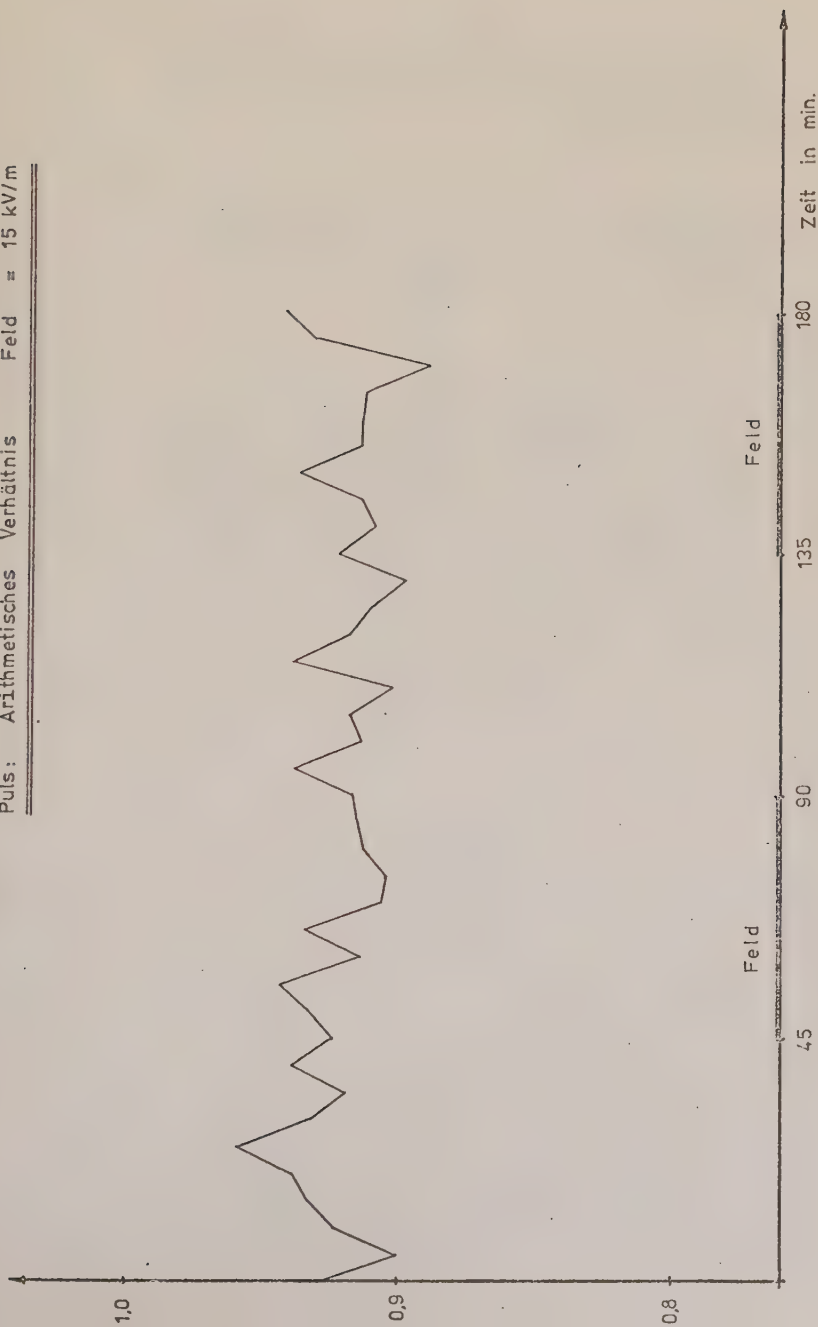


Abb. 24

Bei den Darstellungen Abb. 25 - 27 wurden zum ersten Male Mittelwerte, Standardabweichungen und Vertrauensbereiche für die einzelnen Bereiche berechnet.

Es zeigen sich bei Betrachtung der Kurven keine Veränderungen, die mit der Feldeinwirkung in Verbindung gebracht werden könnten.

b) Blutdruck:

Auch aus den Kurven der Blutdruckwerte (Abb. 28) für die drei Testserien lassen sich keine Veränderungen während des Versuchsverlaufs entnehmen. Der etwas erhöhte Blutdruck zu Beginn der O-Serie läßt auf eine psychologische Beeinflussung durch die Fremdartigkeit der Umgebung schließen.

SERIE (B) Puls aus EKG Feld = 0

unterbrochene Linien begrenzen Vertrauensbereich

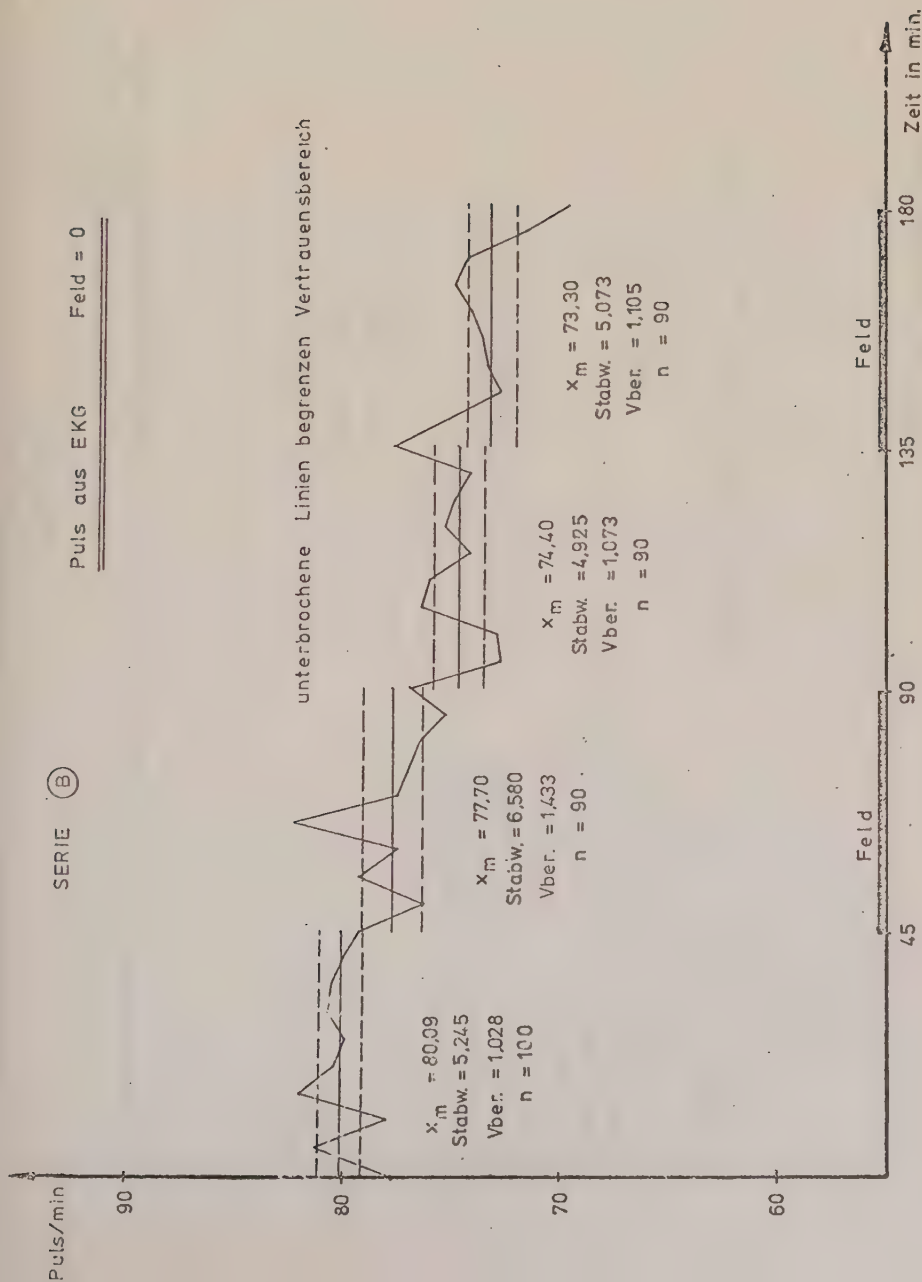


Abb. 25

SERIE (B)

Puls aus EKG Feld = 1 kV/m

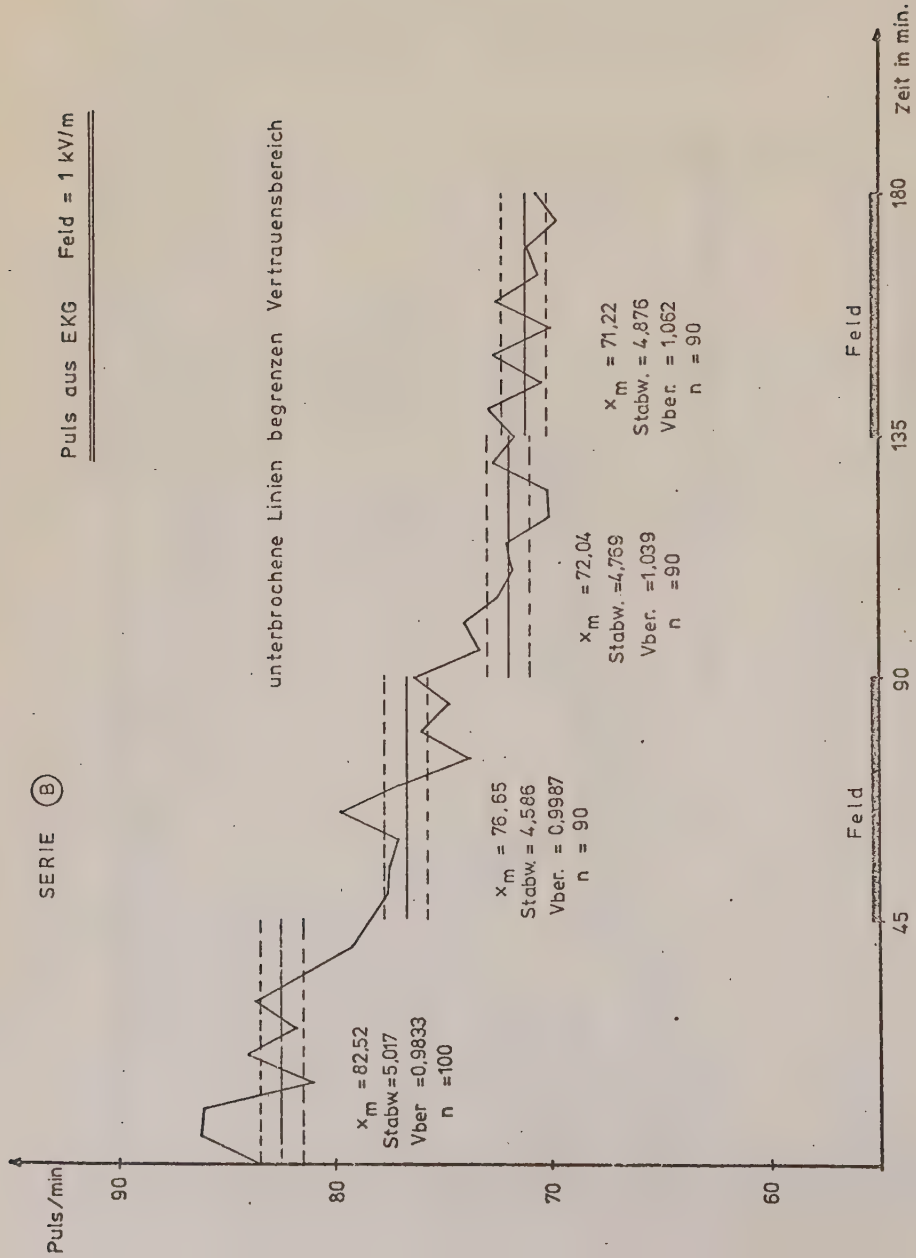


Abb. 26

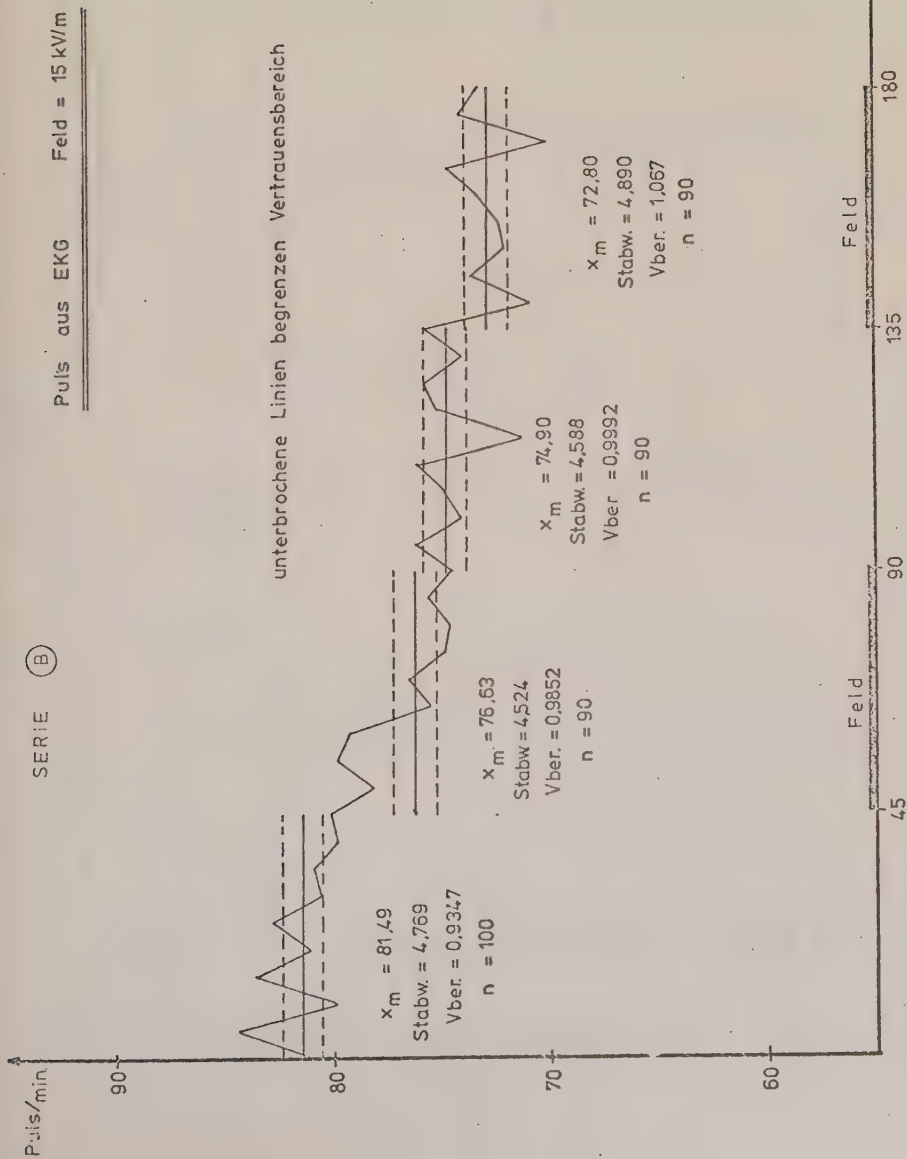


Abb. 27

SERIE (B)

Blutdruck
[mmHg]

- 84 -

Systolische Werte

— Feld = 0

- - - Feld = 1 kW/m

- · - · - Feld = 15 kW/m

Diastolische Werte

Feld 45 90 135 180 Zeit [Min]

Abb. 28

c) Reaktionszeit:

Bei der Beurteilung ist das Versuchsschema zu berücksichtigen. Die Reaktionszeituntersuchungen fanden nachmittags nach der Vorbelastung am Vormittag statt.

Im Fall 1 (Nullserie) zeigte sich über die Zeitdauer ein leichter kontinuierlicher Anstieg der mittleren Reaktionszeit von 0,218 sec. auf 0,223 sec. Es handelt sich wohl um einen Ermüdungseffekt.

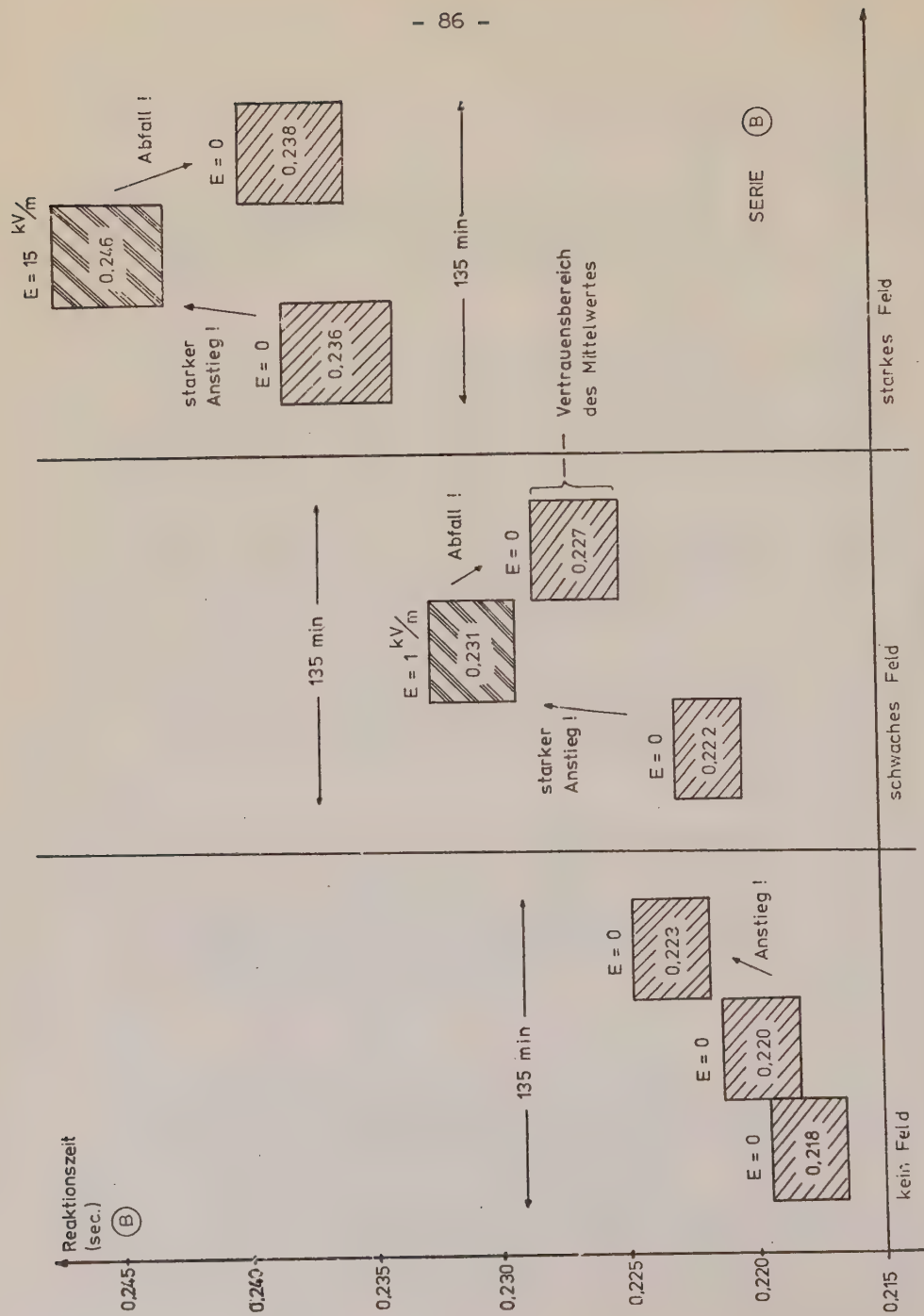
Nach Aufschalten des schwachen Feldes zeigte sich ein deutlicher Anstieg im Sinne einer Verschlechterung der Reaktionszeit von 0,222 sec. auf 0,231 sec. und ein anschließender Abfall auf 0,227 sec.

Dieser Effekt wurde nach Aufschalten des 15-kV-Feldes noch ausgeprägter. Es scheint sich zunächst hier um einen durch das Feld bedingten Effekt zu handeln.

Zu beachten ist, daß der Anstieg nicht proportional zur angelegten Feldstärke erfolgt. Nach Abschalten des Feldes pendelte sich der Wert in seiner Größenordnung etwa auf den durch Ermüdungserscheinungen in der Nullserie zu erwartenden Wert ein.

Beachte hierzu die Darstellungen Abb. 29 - 35.

Zur Verdeutlichung der Ergebnisse wurden einzelne Kurven in verschiedenen Maßstäben gezeichnet.



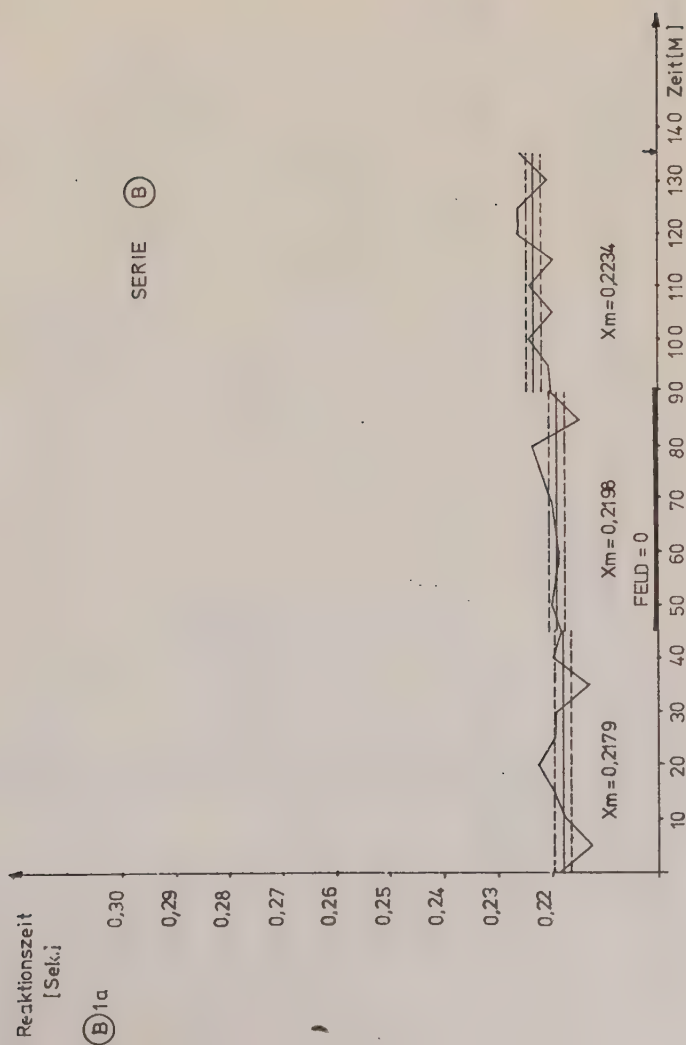


Abb. 30

Reaktionszeit Feld = 0

SERIE (B)

Reaktionszeit in sec.

(B)1b

unterbrochene Linien begrenzen Vertrauensbereich

$\bar{x}_m = 0,2234$

Stabw. = 0,01588

Vber. = 0,001483

n = 450

$\bar{x}_m = 0,2198$

Stabw. = 0,01627

Vber. = 0,001519

n = 450

$\bar{x}_m = 0,2179$

Stabw. = 0,01643

Vber. = 0,001464

n = 500

Zeit in min

Abb. 31

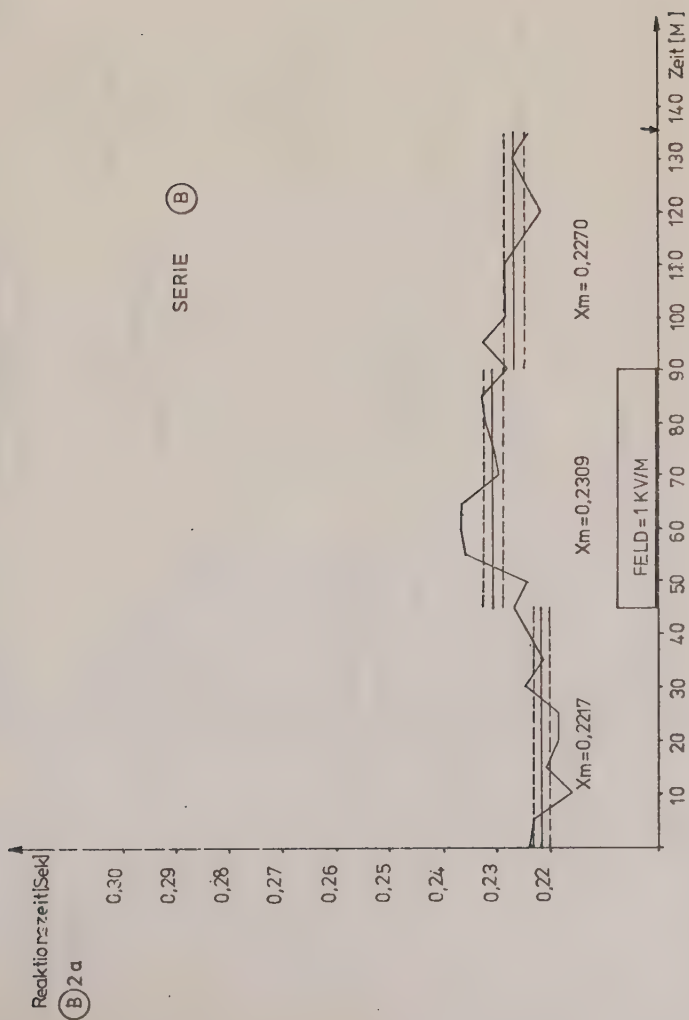


Abb. 32

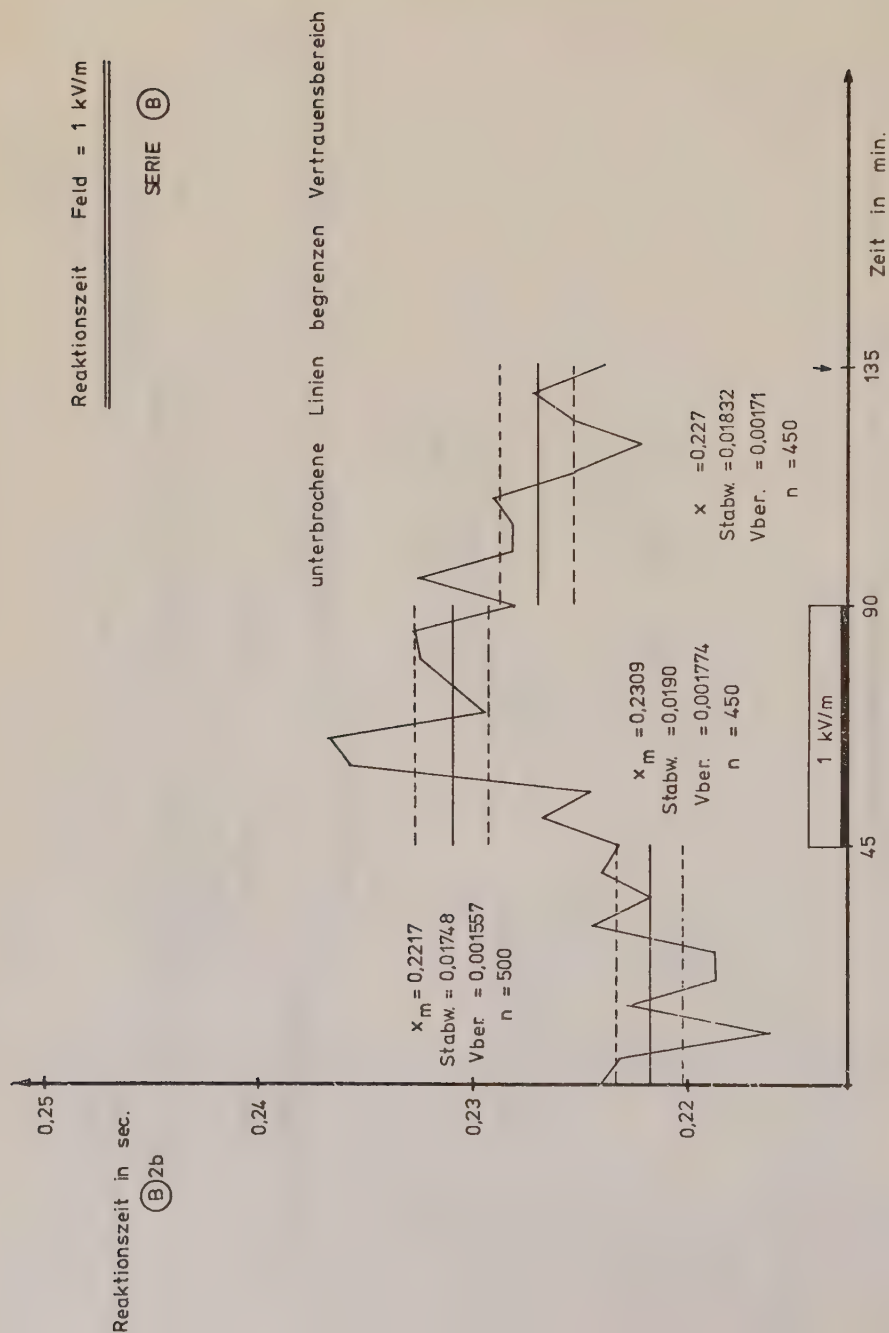


Abb. 33

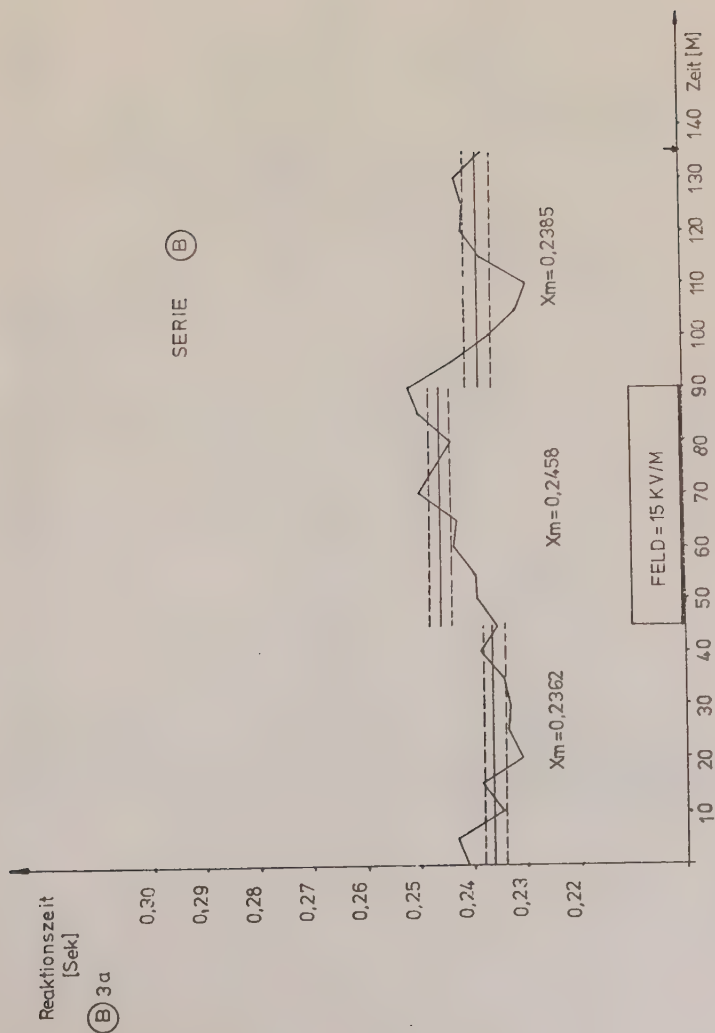


Abb. 34

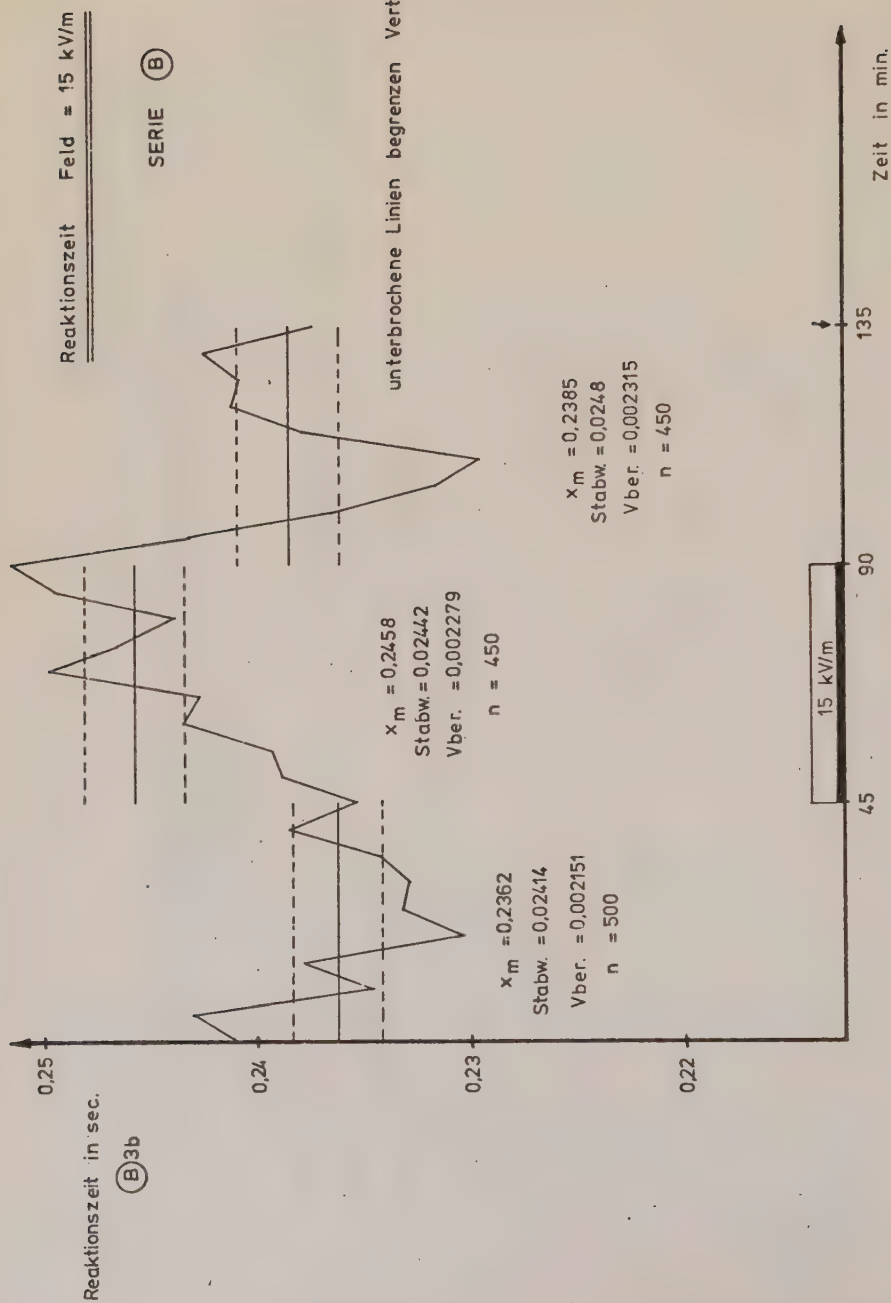
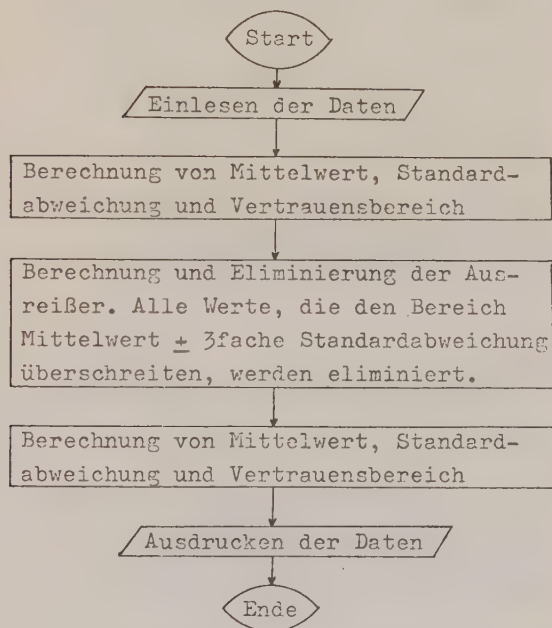


Abb. 35

Die aus den Messungen erhaltenen Werte wurden auf Lochkarten ausgedruckt und nach folgendem (vereinfachtem) Flußdiagramm aufbereitet:



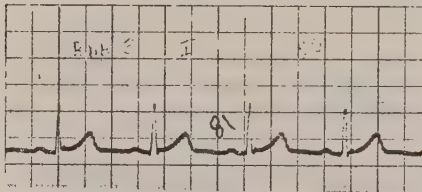
Die angegebenen Vertrauensbereiche gelten mit einer statistischen Sicherheit von 95 %. Die jeweiligen Mittelwerte resultieren aus je 450 Einzelmessungen.

d) EKG:

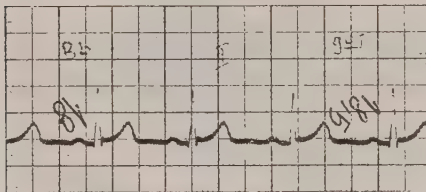
Hier sollen aus jeder der drei Serien drei Beispiele gebracht werden:

I.) EKG zu Beginn des Versuches (9.00 Uhr)

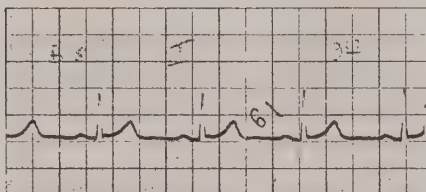
a) Nullwert



b) Schwaches Feld (1 kV/m)

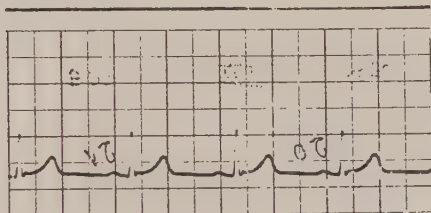


c) Starkes Feld (15 kV/m)

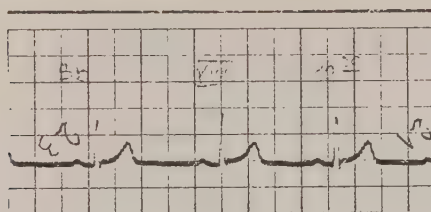


II.) EKG während des Versuches (10.20 Uhr)

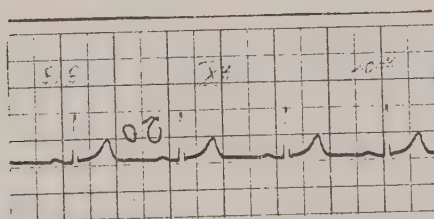
a) Nullwert



b) Schwaches Feld (1 kV/m)

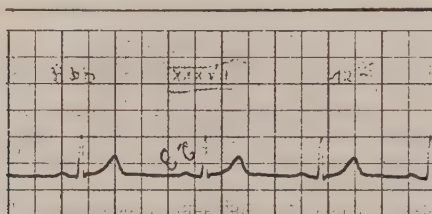


c) Starkes Feld (15 kV/m)

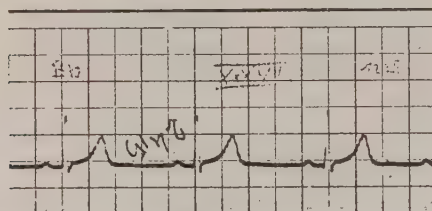


III.) EKG zu Ende des Versuches (12.00 Uhr)

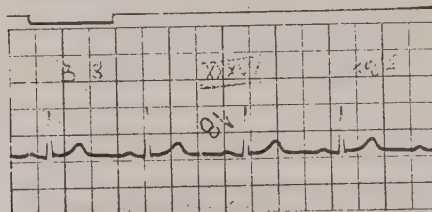
a) Nullwert



b) Schwaches Feld



c) Starkes Feld



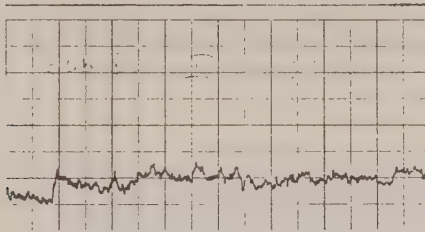
Aus der vergleichenden Gegenüberstellung der einzelnen Kurven sind keine verwertbaren Veränderungen während des Untersuchungsablaufs ersichtlich.

e) EEG:

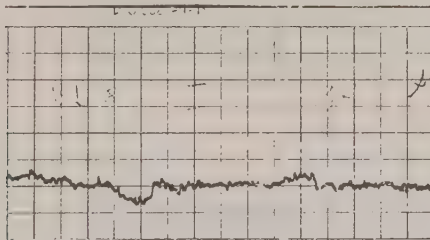
Auch hier sollen aus jeder Serie drei Beispiele gezeigt werden.

I.) EEG zu Beginn des Versuches (9.00 Uhr)

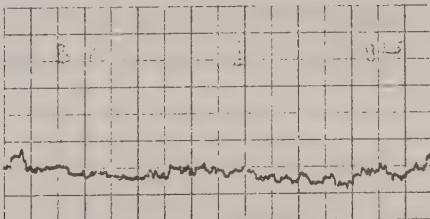
a) Nullwert



b) Schwaches Feld

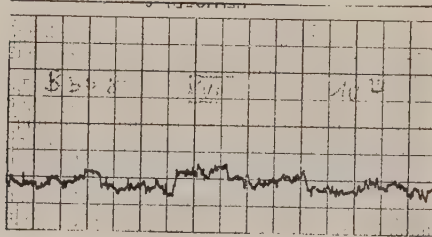


c) Starkes Feld

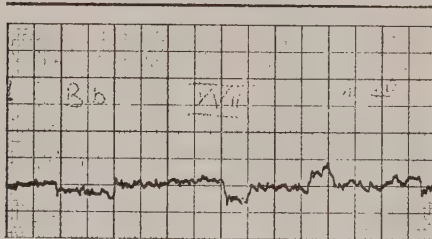


II.) EEG während des Versuches (10.20 Uhr)

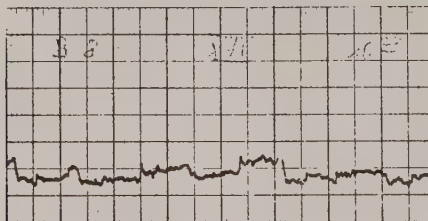
a) Nullwert



b) Schwaches Feld

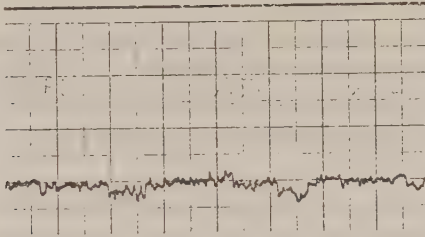


c) Starkes Feld

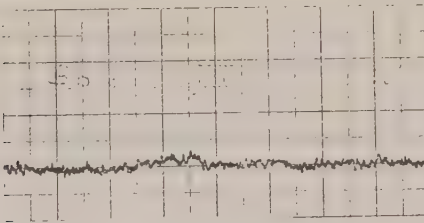


III.) EEG zu Ende des Versuches (12.00 Uhr)

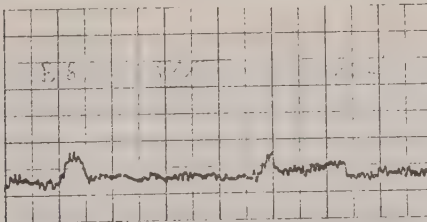
a) Nullwert



b) Schwaches Feld



c) Starkes Feld



Es sind keine mit der Feldeinwirkung in Zusammenhang stehenden Veränderungen zu erkennen.

Durch die dritte Testserie sollten die Ergebnisse der vorangegangenen Reaktionszeitmessungen überprüft bzw. bestätigt werden.

Es wurde festgelegt, daß sich 20 Probanden an jeweils drei aufeinanderfolgenden Tagen zum jeweils gleichen Zeitpunkt einem Reaktionsversuch mit Feld = 0, Feld = 1 kV/m und Feld = 15 kV/m unterziehen sollten.

Durch den jeweils gleichen Versuchszeitpunkt für die einzelnen Testpersonen sollte verfälschenden Schwankungen durch den individuellen Tagesleistungsgang begegnet werden.

Täglich wurden drei Testserien durchgeführt.

Start der ersten Serie 9.15 Uhr

Start der zweiten Serie 13.15 Uhr

Start der dritten Serie 15.45 Uhr

Das für die vorangegangene Serie verwendete Schema des Zeitablaufes wurde beibehalten.

Auf eine fortlaufende Registrierung der medizinischen Parameter wurde in dieser Serie verzichtet. Die Kurzanamnese sowie eine kurze Untersuchung wurden jedoch durchgeführt.

Die Ionenmessungen konnten nicht mehr durchgeführt werden, da die Geräte in anderen Labors benötigt wurden.

Der Ablauf der Reaktionszeitmessungen wurde weitgehend automatisiert und auf elektronische Steuerung umgestellt.

Der Ablauf stellt sich nunmehr wie folgt dar:

Alle 5 Minuten beginnt eine Reihe von 5 Einzeltests. Der Beginn wird mittels eines Summtones angezeigt, anschließend erfolgt der eigentliche Start.

Eine aufleuchtende grüne Lampe signalisiert der Versuchsperson den Beginn der Wartezeit, die statistisch streuend 2 - 9 sec. betragen kann. Der Zeitimpuls wird durch einen elektronischen Würfel ausgewählt.

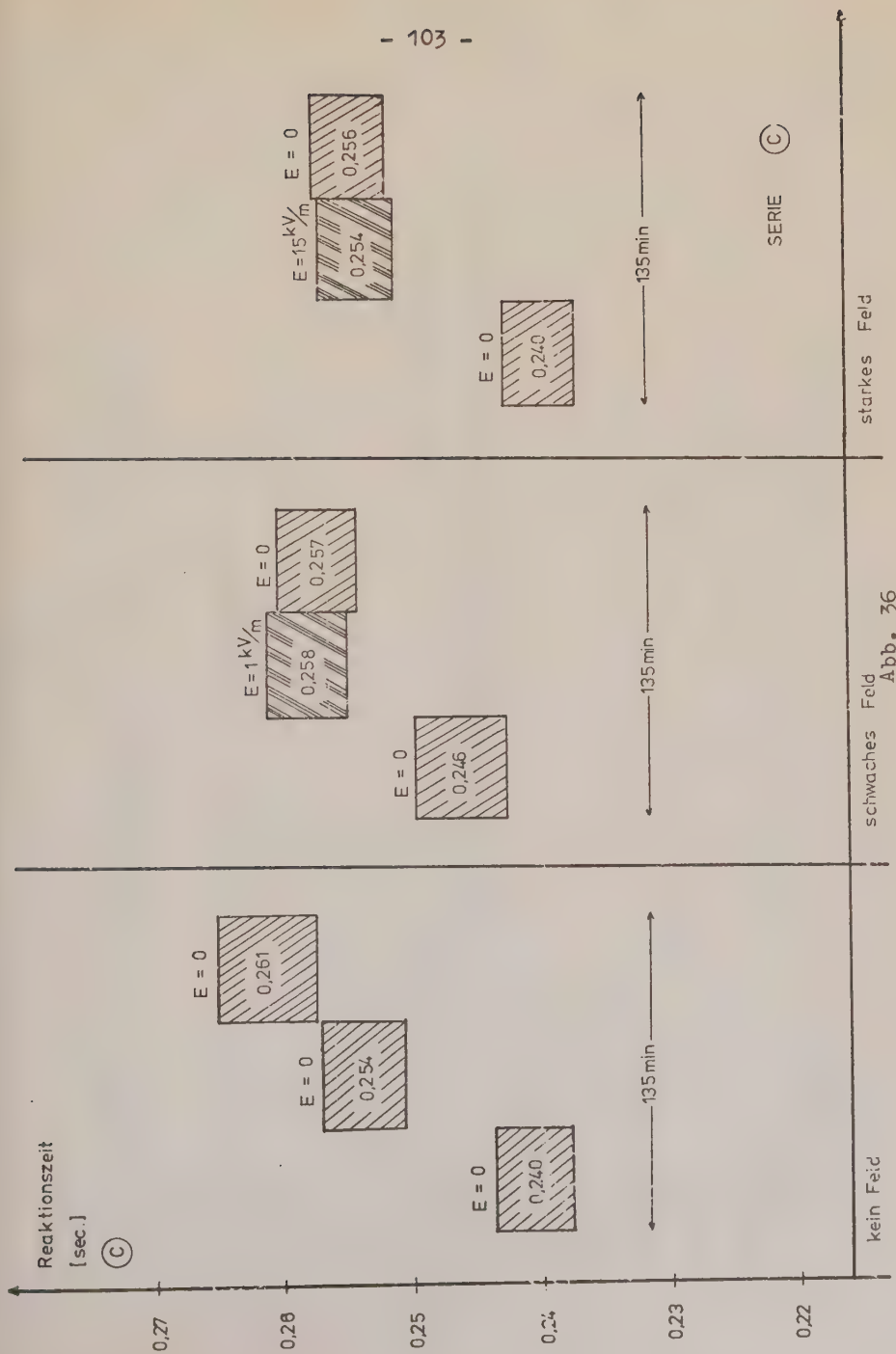
Ist diese Zeit vorüber, so erlischt die grüne Lampe und eine rote Signallampe leuchtet auf. Nun soll die Versuchsperson so schnell als möglich die Reaktionstaste betätigen. Die rote Lampe erlischt daraufhin und es folgt eine kurze Pause.

Die Reaktionszeit wird dem Versuchsleiter in seinem Steuerstand digital angezeigt. Verwendet wurde ein hochempfindlicher elektronischer Zähler von CONRADTY.

Nach 5 sec. beginnt der Versuch von neuem. Nach Durchführung von fünf Einzeltests ist für den Rest der 5 Minuten Pause. Der Versuchsleiter hat keinen Einfluß auf den Ablauf des Geschehens, da sämtliche Impulse elektronisch gesteuert werden.

Da in dieser Testserie 5 von 20 Personen dem Institut angehörten, wurde eine Gesamtauswertung und später für diese 5 Personen eine separate Auswertung vorgenommen. Die Daten der übrigen 15 Probanden wurden ebenfalls noch einmal bearbeitet. In der Gegenüberstellung zeigten sich keine wesentlichen Unterschiede zwischen den beiden Gruppen.

Die Darstellungen Abb. 36 - 42 gelten für alle 20 Testpersonen.



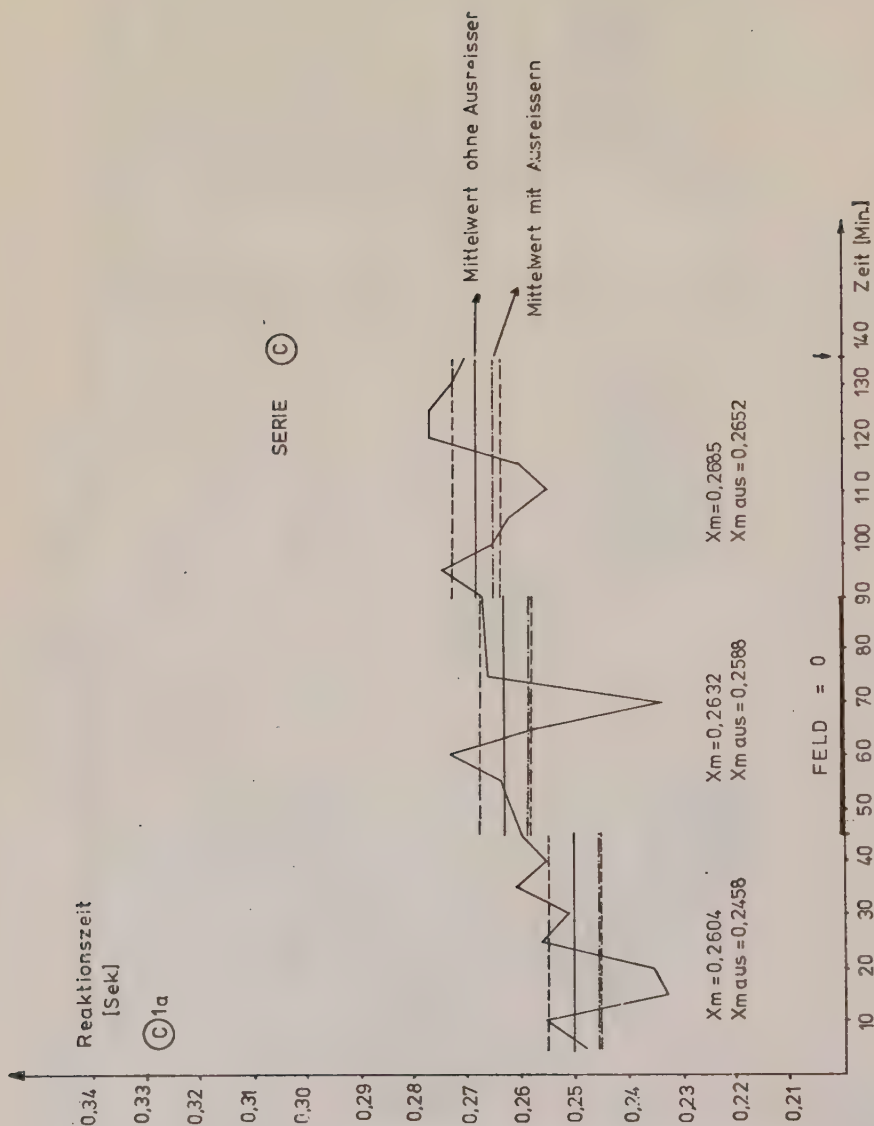


Abb. 37

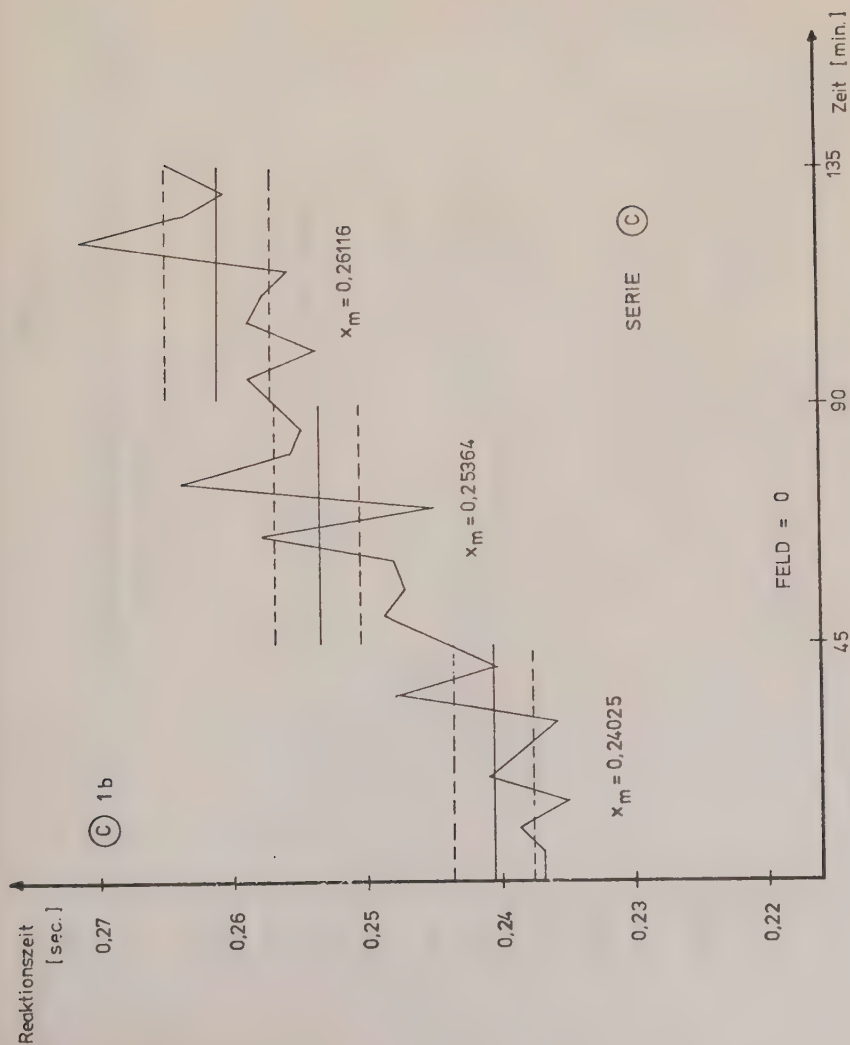


Abb. 38

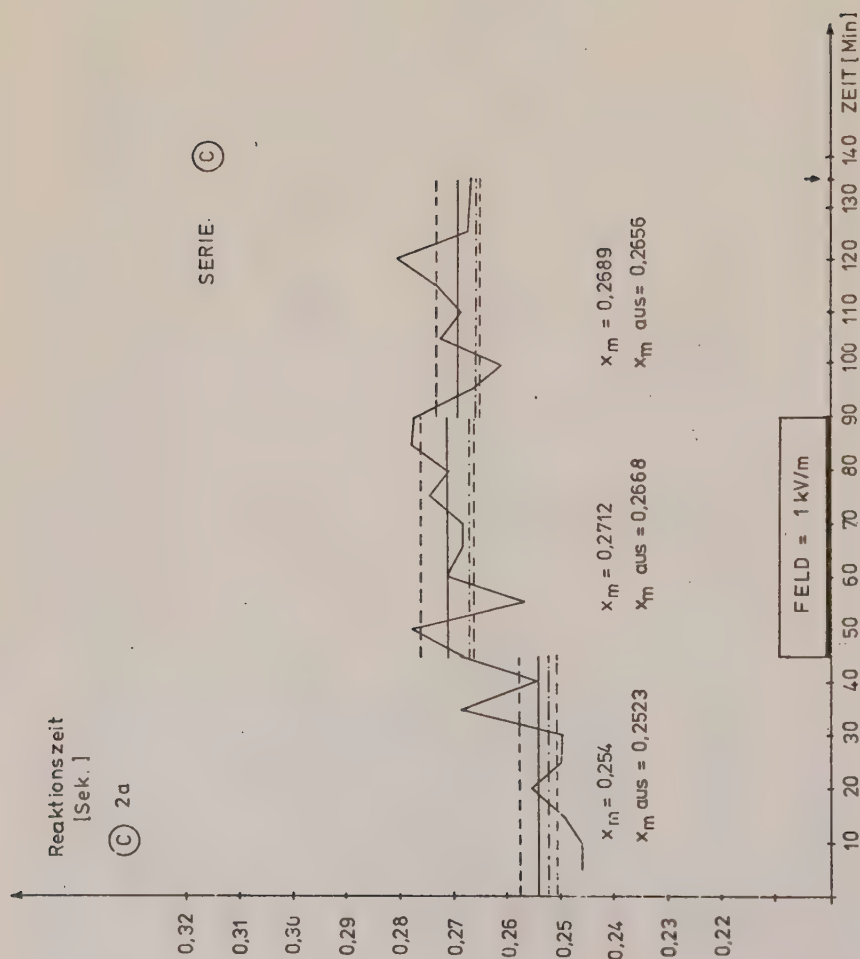


Abb. 39

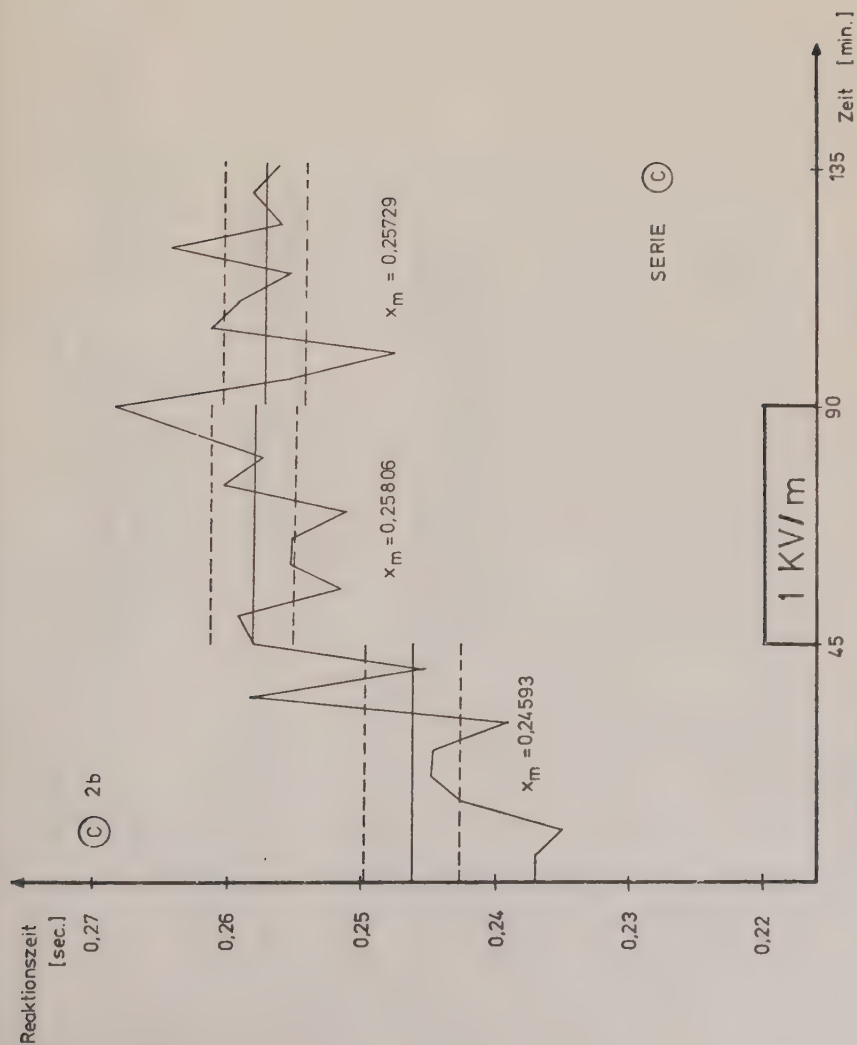


Abb. 40

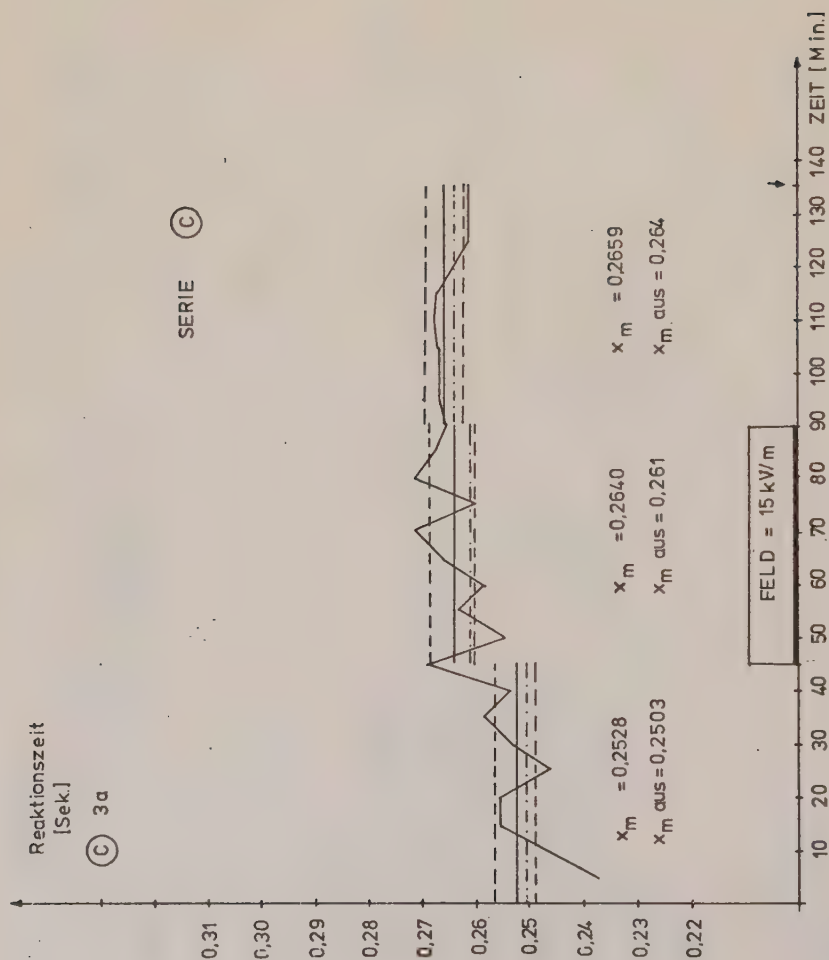


Abb. 41

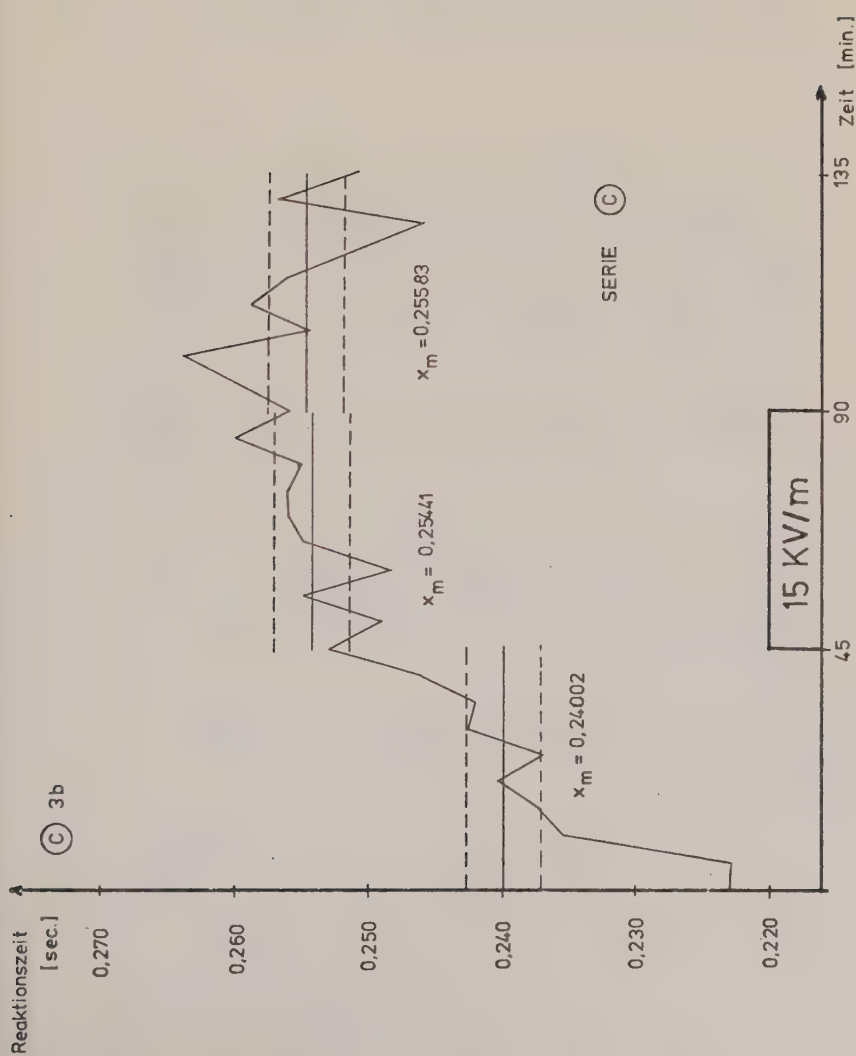


Abb. 42

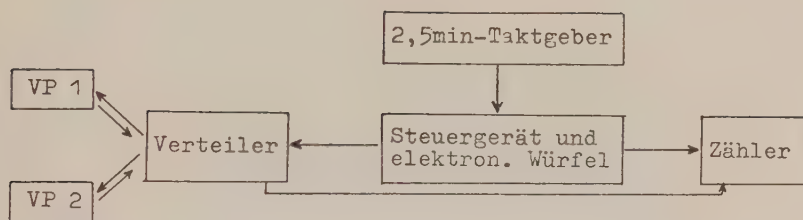
Der in der zweiten Serie gefundene Effekt, eine sprunghafte Verschlechterung der Reaktionszeit nach Einschalten des Feldes und eine deutliche Verbesserung nach Abschalten desselben, trat in dieser Serie in dieser Form nicht mehr zutage. Nach Einschalten des Feldes stieg die Reaktionszeit wie ohne Feld vorher an, aber nach Abschalten desselben blieb sie etwa auf gleicher Höhe, während sie beim Versuch ohne Feld weiter anstieg.

In der vierten Testserie sollte nunmehr ein stärkeres Feld mit 20 kV/m angelegt werden. Der Zeitablauf der Reaktionszeitmessungen wurde beibehalten. EKG und EEG wurden zu Beginn des Versuches, nach Abschalten des Feldes und zu Ende des Versuches registriert. Das EEG wurde nunmehr parietal in der schon beschriebenen Weise abgenommen.

Die gesamte Versuchsanordnung wurde dahingehend erweitert, daß nunmehr zwei Testpersonen gleichzeitig dem Feld ausgesetzt werden konnten.

Die Spannung an der Deckenelektrode betrug nunmehr 90 kV. Bei der Wahl der Spannung wurde der Tatsache Rechnung getragen, daß das Feld durch zwei Personen stärker gestört wird, als durch eine Testperson.

Die Reaktionszeit-Meßapparatur arbeitete nach folgendem Schema:



Wie die Darstellung (Abb. 43) zeigt, ergibt sich aus der Auswertung der Reaktionszeitmessungen lediglich ein leichter kontinuierlicher Anstieg im Sinne einer Verschlechterung der Reaktion um 2/100stel sec.

Die Zahl der Testpersonen betrug 10 und das aufgeschaltete Feld wurde mit 50 Hz gefahren. Die Probanden waren auch hier wieder am Unterschenkel geerdet.

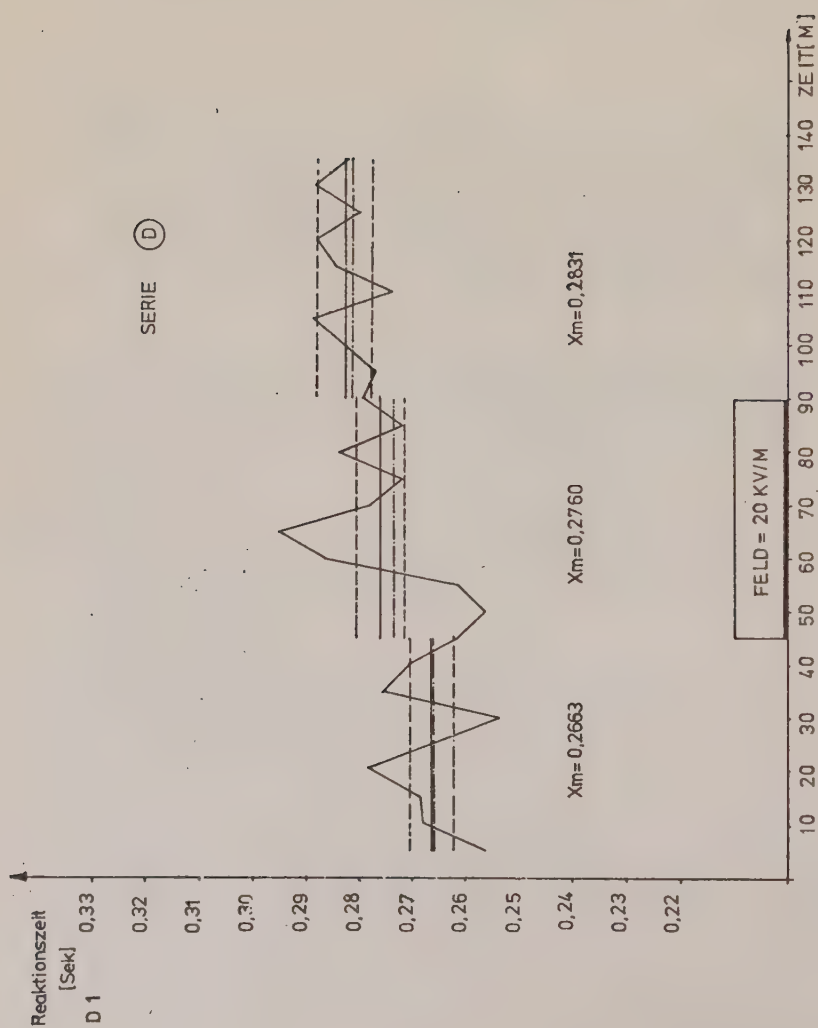
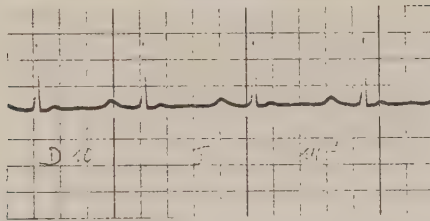


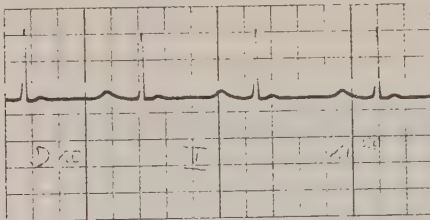
Abb. 43

EKG:

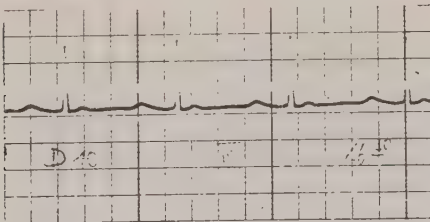
a) Zu Beginn des Versuches



b) Nach Abschalten des Feldes



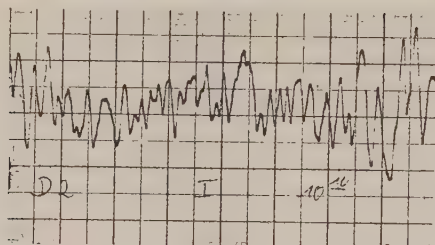
c) Zu Ende des Versuches



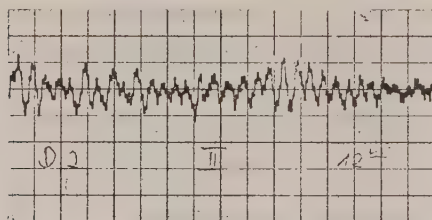
Auch aus diesen Darstellungen ist ersichtlich, daß unter den gegebenen Bedingungen offensichtlich keine durch Feldeinwirkung bedingten Veränderungen vorliegen.

EEG:

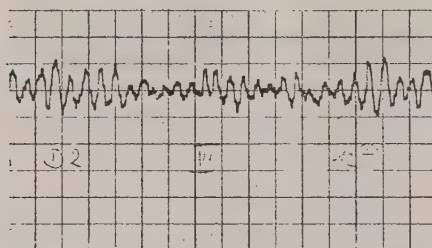
a) Zu Beginn des Versuches



b) Nach Abschalten des Feldes (schlechte Qualität)



c) Zu Ende des Versuches



Die letzten beiden Kurven zeigen eine 50-Hz Überlagerung, durch die die Amplitude weniger ausgeprägt erscheint.

Aus dem gegenüberstellenden Vergleich sind keine signifikanten Unterschiede ersichtlich.

Puls und Blutdruck verhielten sich ähnlich wie in den vorangegangenen Testserien. Auf eine umfassende Darstellung soll daher verzichtet werden.

In der fünften Testserie wurde der Zeitablauf wie folgt geändert:

3/4 Stunde ohne Feld

2 Stunden Feldeinwirkung

3/4 Stunde ohne Feld

An der Deckenelektrode wurde eine Spannung von 75 kV angelegt. Dies entspricht bei Anwesenheit von zwei Testpersonen einer effektiven Feldstärke von 15 kV/m. Der Versuch wurde mit insgesamt 10 Personen durchgeführt.

Die Reaktionszeitmessungen wurden in der üblichen Weise durchgeführt. EKG und EEG wurden zu Beginn des Versuches, nach Feldeinwirkung und zu Ende des Versuches geschrieben. Puls und Blutdruck wurden nur noch zu Beginn und zu Ende des Versuches gemessen.

Die Darstellung Abb. 44 zeigt die Ergebnisse der Reaktionszeitmessungen. Aus den Kurven ist ein geringer kontinuierlicher Anstieg ersichtlich. Nach Abschalten des Feldes kam es zu einer leichten sprung-

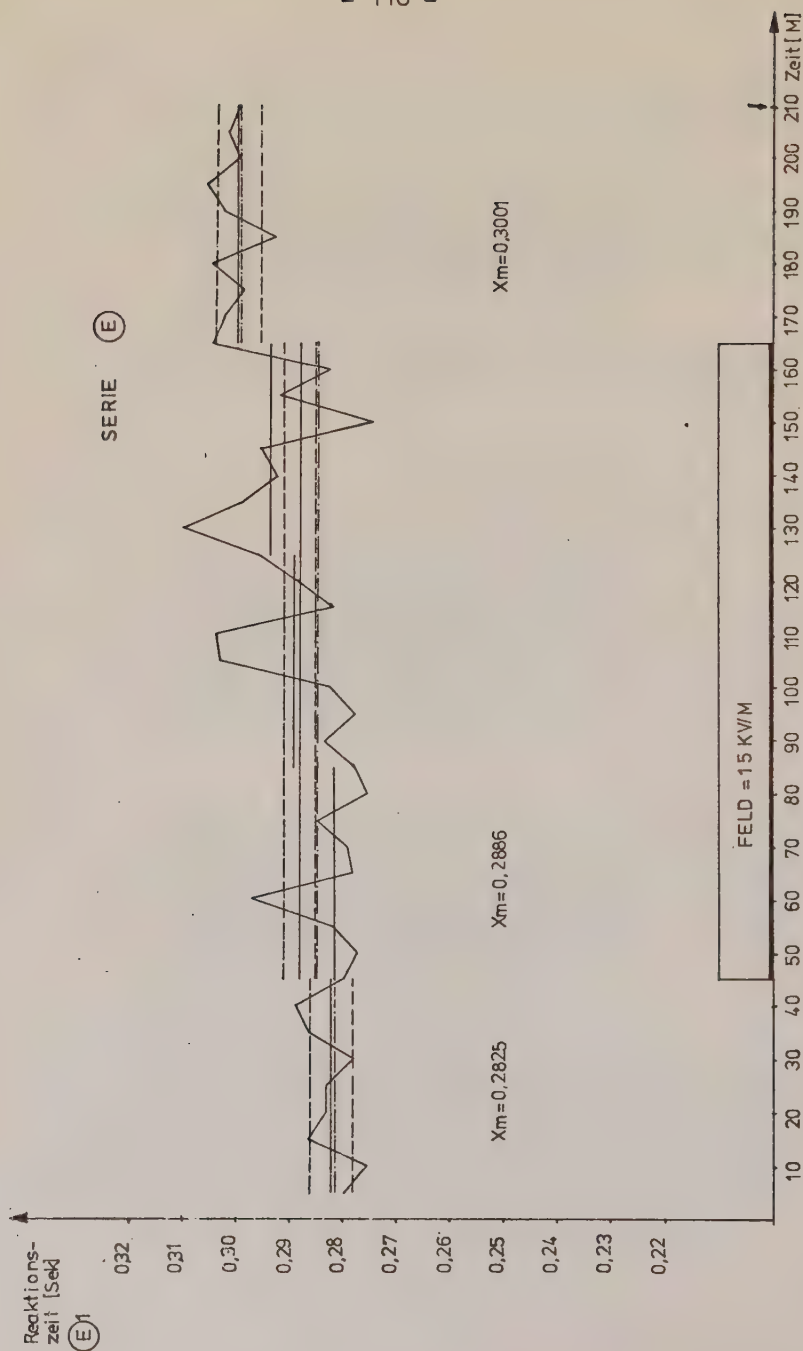
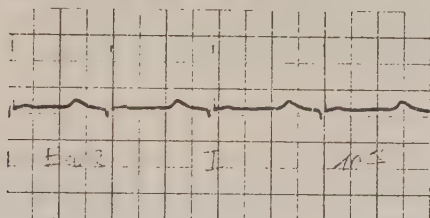


Abb. 44

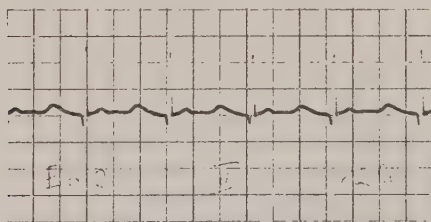
haften Verschlechterung. Wenn man die lange Versuchszeit berücksichtigt, so zeigt sich doch nur ein sehr geringer Ermüdungseffekt.

EKG:

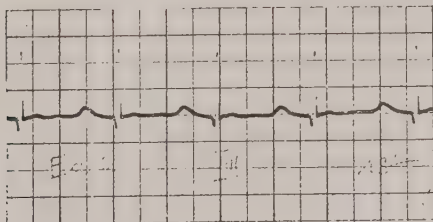
a) Zu Beginn des Versuches



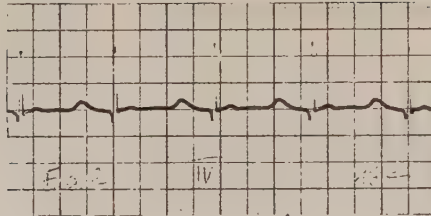
b) Während der Feldeinwirkung
(Das Feld wurde zur Registrierung kurzfristig ausgeschaltet)



c) Nach Abschalten des Feldes



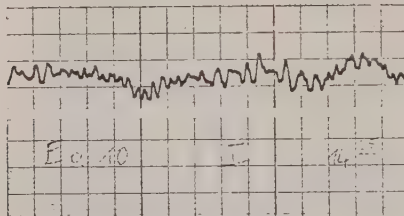
d) Zu Ende des Versuches



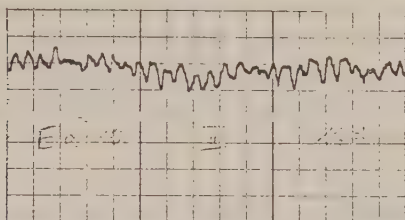
Auffällig ist bei Betrachtung dieser Serie lediglich eine etwas höhere Pulsfrequenz während der Feldeinwirkung, wie sie auch im Beispiel b) (EKG) zum Ausdruck kommt.

EEG:

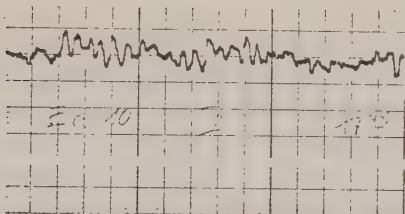
a) Zu Beginn des Versuches



b) Nach Abschalten des Feldes



c) Zu Ende des Versuches



Auch die Auswertung dieser Elektroencephalogramme ergab keine signifikanten Unterschiede. Auf eine Beeinflussung durch Feldeinwirkung kann nicht geschlossen werden.

In der sechsten und letzten Versuchsserie wurden 10 Testpersonen jeweils zu zweit vormittags von 10 - 12 Uhr einem Feld mit einer Intensität von 20 kV/m ausgesetzt. Dies entspricht einer an der Elektrode angelegten Spannung von 90 kV.

Die Probanden konnten während dieser Zeit lesen. Zu Beginn und zu Ende der Feldeinwirkung wurde der Puls ausgezählt. Andere medizinische Parameter wurden in dieser Serie nicht berücksichtigt. Die Erdung der Testpersonen erfolgte wie üblich am Unterschenkel.

Nach einer Mittagspause wurden die Tests um 13.00 Uhr mit Reaktionszeitmessungen fortgeführt.

Zeitschema:

3/4 Stunde Nullwert (eine Pulsmessung)
3/4 Stunde Feldeinwirkung (20 kV/m; Pulsmessung)
3/4 Stunde Nullwert (eine Pulsmessung)
Ende des Versuches

Um einen objektiven Wertevergleich zu ermöglichen, wurden die Testpersonen am ersten Versuchstag bei genau gleichem Zeitablauf einem Test ohne jegliche Feldeinwirkung unterzogen.

Die folgenden Kurven (Abb. 45 und 46) zeigen die Ergebnisse der Reaktionszeitmessungen: Aus der Nullserie (vor- und nachmittags ohne Feld) ist ein kontinuierlicher Gang ohne Anstieg ersichtlich. Die Belastungskurve (vor- und nachmittags mit Feld) zeigt bei vergleichsweise niedrigeren Anfangswerten einen leichten Anstieg.

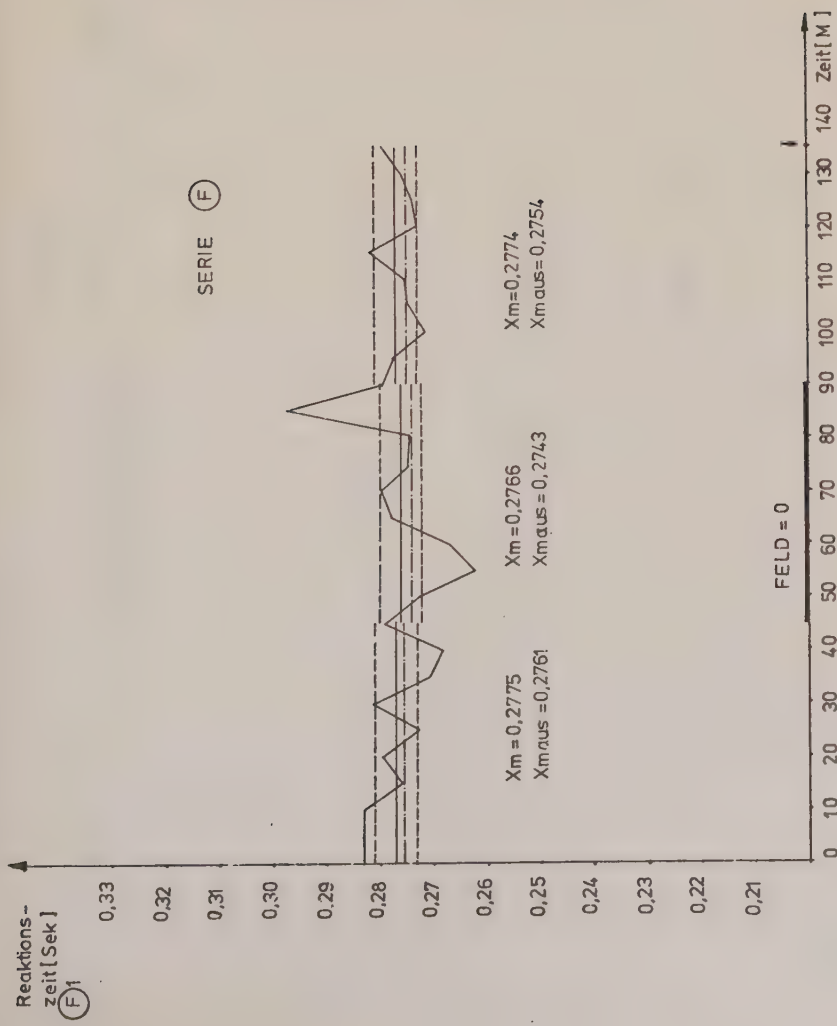


Abb. 45

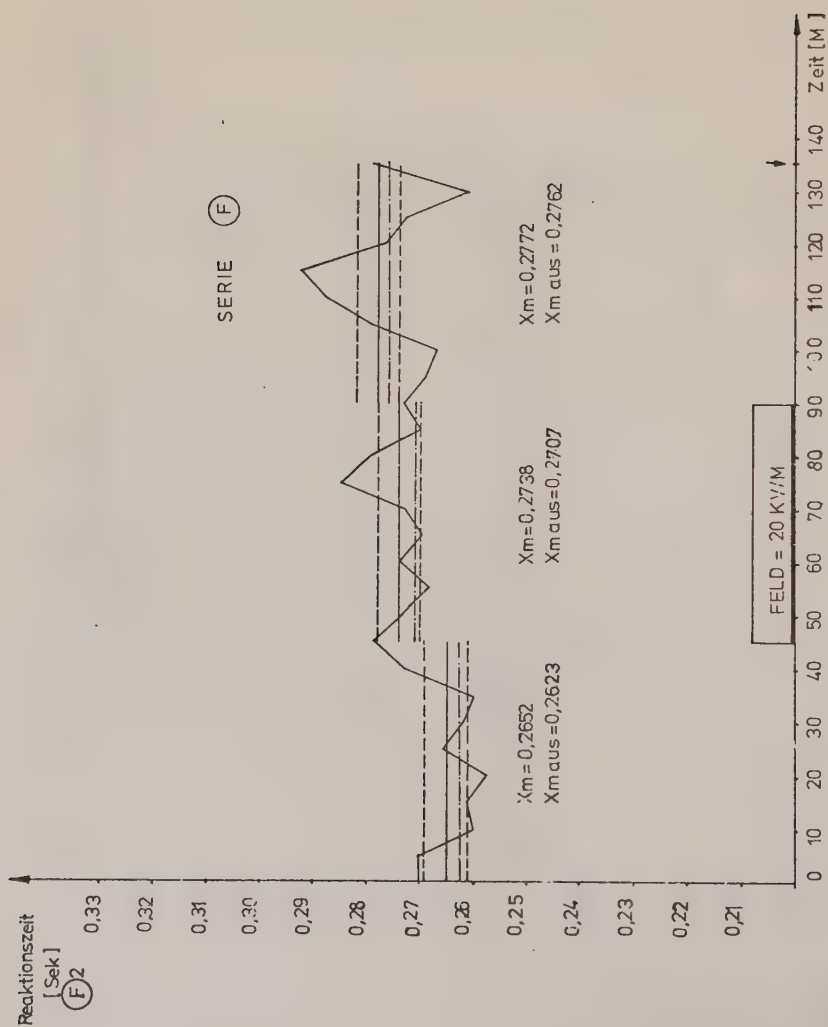


Abb. 46

Bei vergleichender Betrachtung der Pulswerte ergab sich bei 6 von 10 Personen nach vormittäglicher Feldbelastung zu Beginn der Reaktionszeitmessungen eine höhere Pulsfrequenz als bei Nichtbelastung.

Im Mittel betrug diese Erhöhung etwa 10 %.

VII Verhalten der Ionenkonzentration im Raum

An dieser Stelle soll noch einmal auf die während der ersten Testserien durchgeführten Ionenmessungen eingegangen werden.

Es wurde festgestellt, daß durch das Anlegen einer Spannung die im Raum vorhandenen freien Ionen teilweise abgesaugt werden. Sowohl die Konzentration der positiven als auch der negativen Ionen nahm ab.

Auf der folgenden Seite ist eine Originalkurve aus der zweiten Testserie dargestellt (Abb. 47).

Die Grafik (Abb. 48) zeigt noch einmal das Ionenverhalten während des Reaktionszeittestes.

Über das Wesen der Luftionen und deren mögliche Wirkungen auf den menschlichen Organismus müssen hier einige Bemerkungen gemacht werden.

I) Zum Wesen der Ionen

In der Luft schwebt eine Vielzahl von Partikel, deren Größenspektrum sich von Kombinationen mehrerer Moleküle (10^{-5} - 10^{-6} cm ϕ) bis zu Teilchen mit etwa 10 μ m ϕ erstreckt. Das System Luft/Schwebeteilchen bezeichnet man als Aerosol. Ein Teil der Partikel ist elektrisch geladen. Die meisten, vor allem die kleineren, tragen nur eine Elementarladung. Durch energiereiche

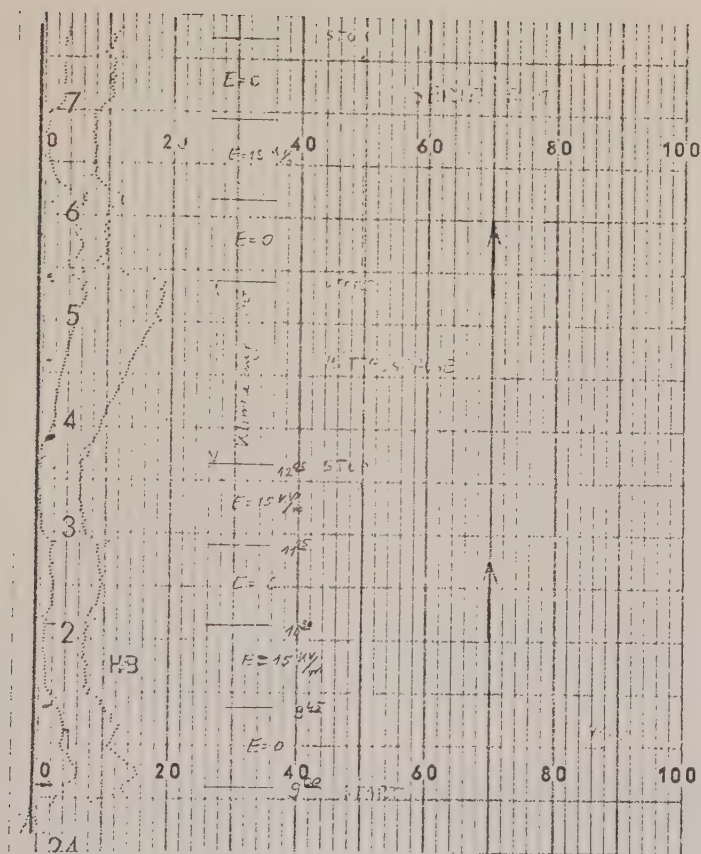


Abb. 47

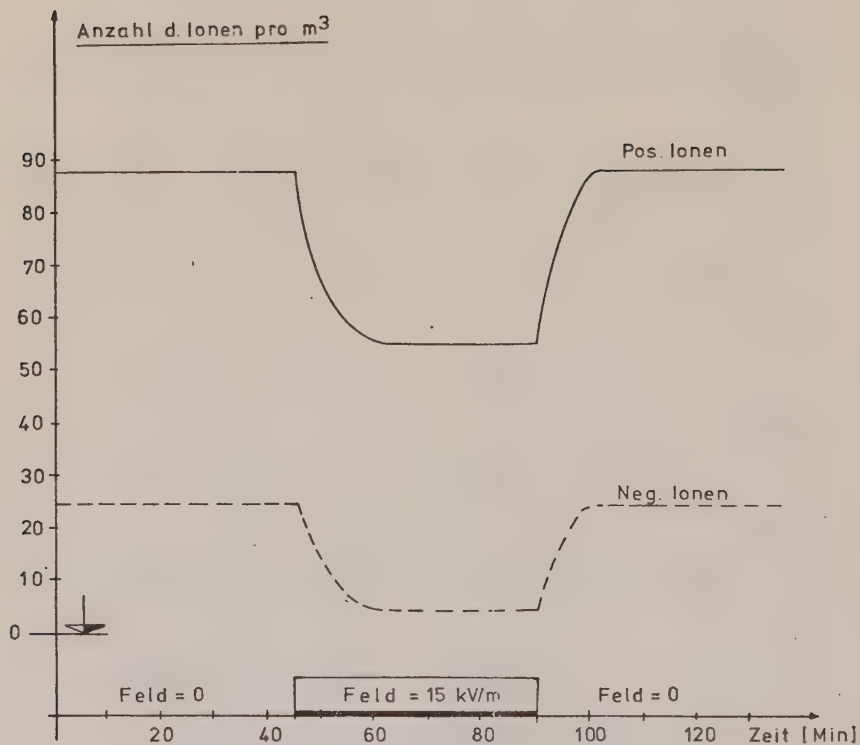


Abb. 48

Strahlung werden ständig Ionenpaare gebildet, die ihre Ladung an die in der Luft schwebenden Teilchen abgeben. Auch führen primäre Ionen zur Zusammenballung mehrerer Moleküle. Diese sogenannten Kleinionen sind es, die im wesentlichen den gesamten Stromtransport in der Atmosphäre übernehmen, insofern ein elektrisches Feld vorhanden ist.

Infolge der ständigen Diffusion vereinigen sich positive und negative Teilchen zu einem zunächst neutralen Teilchen oder lagern sich an größere, zumeist noch ungeladene Teilchen an, welche ihrerseits durch weitere Koagulation anwachsen, bis sie schließlich durch Sedimentation ausfallen.

II) Untersuchungen zur Wirkung von Ionen

Nach Untersuchungen von EDSTRÖM soll die Einatmung von negativen Ionen in fast allen Fällen zu einer Senkung der Chronaxie der motorischen Nerven führen.

KRUEGER und SMITH experimentierten mit ionisierten Gasen und stellten fest, daß durch die Einwirkung von positiven Ionen Serotonin freigesetzt wird und dadurch die Ziliertätigkeit gelähmt und die Zellatmung verringert wird.

Negative Sauerstoffionen hingegen wirken auf die Cytochrom-Oxidase und beschleunigen den Abbau des Serotonins (Aktivierung der Zellatmung).

WORDEN setzte Goldhamster unipolar geladener Luft aus und fand signifikante Veränderungen an der Nebenniere (Gewichtszunahme um 29 % nach Behandlung mit negativen Ionen; Gewichtsabnahme um 33 % nach Behandlung mit positiven Ionen).

SCHULZ und KORNBLUEH kamen unabhängig voneinander zu dem Ergebnis, daß sich negative Ionen günstig auf Erkrankungen des Atemtraktes auswirken.

EICHMEIER stellte nach Behandlung mit Kleinionen beider Polarität eine Änderung der Atemfrequenz um 12 %, eine Änderung der Alpha-Frequenz im EEG um 2,2 % und eine Pulsfrequenzänderung um 4,4 % fest.

Zu ähnlichen Ergebnissen kommt auch VARGA. Er stellte weiterhin fest, daß sich beim Einatmen von ionisierter Luft der Sauerstoffgehalt des Blutes beim Menschen erhöht.

Ein biologischer Reiz kann dann ausgeübt werden, wenn Reizenergie in elektrochemische Energie umgewandelt und dadurch der elektrokinetische Zustand der biologischen Grenzflächen verändert wird.

Eine Erklärung für die mögliche Wirkung von Ionen wäre folgende: Bei der Behandlung von Menschen mit Ionen sind die Energieträger Gas-

ionen aus der Luft, die sich im Atemtrakt infolge chemischer Reaktion neutralisieren, d. h. entweder ihre Ladung abgeben oder eine Gegenladung aufnehmen, wodurch ein Reizeffekt ausgeübt wird.

Ungeklärt ist allerdings, ob und inwieweit geladene Partikel selbst schon aufgrund ihrer stofflichen Zusammensetzung und ohne Rücksicht auf ihre Ladung unmittelbar wirksam sind.

Im Bereich von Hochspannungseinrichtungen entstehen Luftionen hauptsächlich durch Koronaentladungen von kugel-, ring- oder spitzenförmigen Elektroden oder von Drähten. Bei Koronaentladungen entsteht außerdem Ozon, das durch seinen Geruch auffällt und für seine Giftigkeit in höherer Konzentration bekannt ist.

Da in unseren Versuchsanordnungen die Hochspannungseinrichtungen und die Elektrode durch Abschirmungen sprühhfrei ausgeführt waren, entstanden durch Anlegen der Spannung keine Ionen.

Die bei ungünstigen Witterungsverhältnissen (Nebel, hohe Luftfeuchtigkeit) zu beobachtenden Koronaerscheinungen an Hochspannungsfreileitungen und die damit verbundene Ionenfreisetzung kommen nach Meinung verschiedener Autoren für eine biologische Einwirkung nicht in Betracht. Durch die schnelle Diffusion in der Atmosphäre (Koagulation - Sedimentation) stellt sich in kurzer Zeit ein Gleichgewicht ein.

Der beobachtete Rückgang der Ionenkonzentration nach Aufschalten eines elektrischen Wechselfeldes läßt sich möglicherweise dadurch erklären, daß durch die jeweilige Polarität der Halbwellen ein Teil der entgegengesetzt geladenen Ionen angezogen und aufgesaugt wird.

Überträgt man dieses Modell auf Hochspannungsfreileitungen, so würde ein Teil der durch Sprüherscheinungen entstandenen Ionen durch den Leiter selbst wieder eingefangen.

VIII Pathophysiologie der Stromeinwirkung im technischen Bereich

Für die Beurteilung einer elektrischen Strom-
einwirkung sind die Faktoren Frequenz, Spannung,
Stromstärke bzw. Stromdichte, Widerstand unter
Berücksichtigung des Übergangswiderstandes, Strom-
weg und Einwirkungszeit in Betracht zu ziehen.

Die pathophysiologische Wirkung des elektrischen
Schlages hängt in erster Linie von der über den
Körper fließenden Stromstärke ab, wobei Strom-
weg und Einwirkungszeit eine wesentliche Rolle
spielen.

KOEPPEN hat eine übersichtliche Einteilung in
Stromstärkebereiche getroffen, die aber nur für
eine Einwirkungszeit von etwa 1 - 4 sec. gelten
können. Dabei ist ein Stromweg über die Extreni-
täten anzunehmen. Die Werte beziehen sich auf
die gesamte über den Körper fließende Stromstärke.

Nach SCHÄFER fließen davon über das Herz nur
ca. 3 - 8 %.

Gleichstrom unterscheidet sich bezüglich der
pathophysiologischen Wirkung vom Wechselstrom
dadurch, daß die Toleranzgrenzen nach oben ver-
schoben sind.

Die Tabelle XII zeigt, daß der Stromstärkebereich
I als praktisch ungefährlich angesehen wird. Eine

Stromstärke von etwa 1,1 mA wird gerade noch wahrgenommen.

Mit zunehmender Stromstärke kommt es zu einem Kribbeln und schließlich zu einer Verkrampfung, zunächst beginnend bei der Fingermuskulatur.

Bei etwa 9 mA kann ein umfaßter Leiter gerade noch losgelassen werden und dann kommt es zu einer Verkrampfung der Hand.

Mit weiter ansteigender Stromstärke kann neben der Armmuskulatur auch die Atemmuskulatur verkrampfen. Rückwirkungen auf das Herz treten nicht auf.

Stromstärkebereiche bei Gleich- und Wechselstrom nach KOEPPEN

Stromstärkebereich	Stromstärke	sichtbare Merkmale	klinische Merkmale
I	Gleichstrom bis 80 mA Wechselstrom bis 25 mA	Muskelkontraktionen in den Fingern; Loslassen des Kontaktes noch möglich bei 9 bis 15 mA;	vorübergehende Blutdrucksteigerung, ohne Einfluß auf Herzrhythmus und Erregungsleitung, physiologische Ausgleichsreaktionen
II	Gleichstrom 80—300 mA Wechselstrom 25—80 mA	noch eben ertragbare Stromstärke, keine Bewußtlosigkeit;	Herzarrhythmie, vorübergehender Herzstillstand, vorübergehende Blutdrucksteigerung
III	Gleichstrom über 300 mA Wechselstrom über 80 mA	Herz- und Atemstillstand, Tod wenn Stromdurchgang länger als $\frac{1}{2}$ Sekunde;	Herzkammerflimmern
IV	Wechselstrom über 3 A (Hochspannung)	Verbrennungen Verkohungen	sonst wie Stromstärkebereich II

Im Stromstärkebereich II werden Herzarrhythmien und vorübergehend Herzstillstand beobachtet. Auch eine Blutdrucksteigerung tritt auf, aber nur während der Zeit der Durchströmung.

Der Stromstärkebereich III ist gekennzeichnet durch das Auftreten von Herzkammerflimmern, das bisher fast immer zum Tode führte.

Der Stromstärkebereich IV umfaßt die Hochspannungsunfälle. Hier stehen ausgedehnte Verbrennungen und Verkochungen im Vordergrund. Diese können auftreten einmal durch die Hitzewirkung des Lichtbogens und zum anderen durch die bei der Durchströmung auftretende Joule'sche Wärme. Die sonstige Stromeinwirkungsfolgen gleichen denen des Stromstärkebereiches II.

Die Stromstärkebereiche nach KOEPPEN geben einen guten Anhalt für die Beurteilung von elektrischen Unfällen.

Um aber den technischen Bedürfnissen für Schutz- und Sicherheitsbestimmungen gerecht zu werden, war es notwendig geworden, Gefährdungsbereiche in Strom-Zeitabhängigkeit aufzustellen.

Deshalb hat die Arbeitsgruppe "Einfluß des elektrischen Stromes auf Mensch und Tier" der Internationalen Elektrotechnischen Kommission aufgrund der einschlägigen internationalen Literatur entsprechende Abgrenzungen für Wechsel- und Gleichstrom vorgenommen, die auf den folgenden Seiten wiedergegeben sind (Abb. 49 und 50).

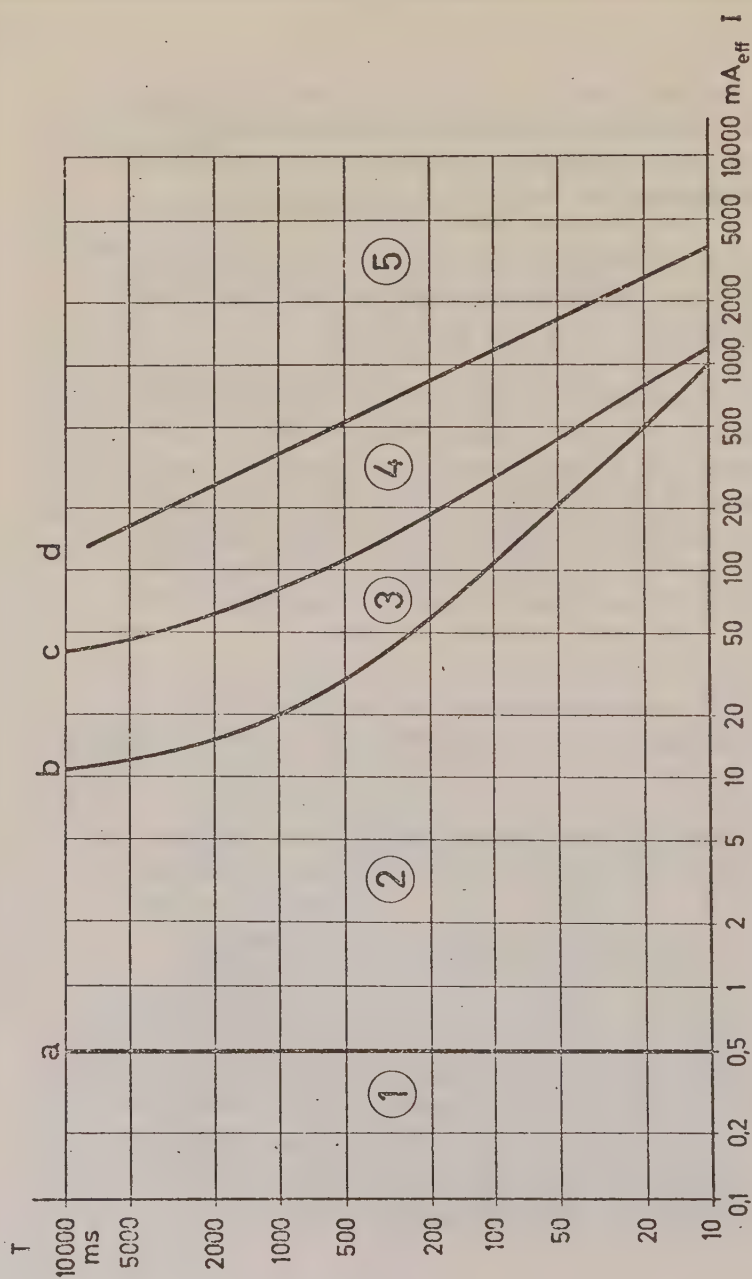


Abb. 49

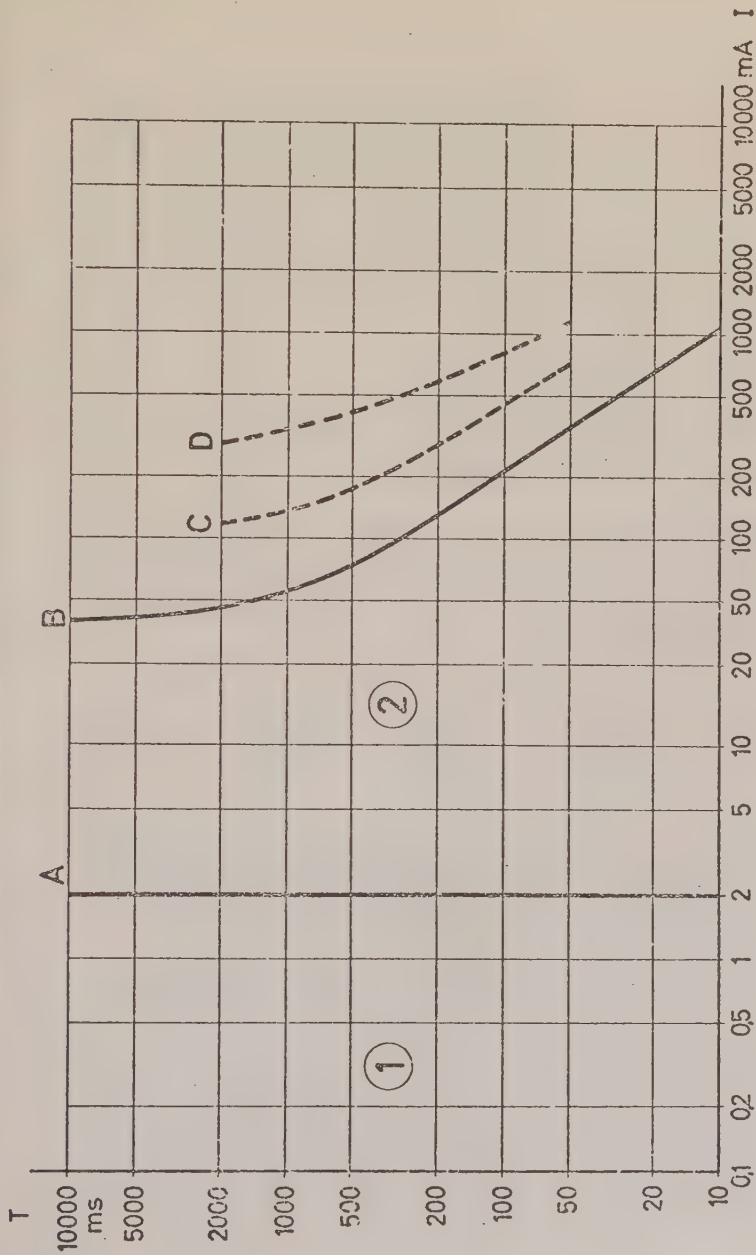


Abb. 50

Es bedeuten für Wechselstrom 50 Hz:

Zone 1: Normalerweise keine Reaktion

Zone 2: Normalerweise keine pathophysiologisch
gefährlichen Effekte

Zone 3: Normalerweise kein Herzkammerflimmern, aber
Rückwirkungen auf Atmung und Herzfunktion
möglich

Zone 4: Herzkammerflimmern möglich (bis zu 50 %
Wahrscheinlichkeit)

Zone 5: Gefahr des Herzkammerflimmerns (über 50 %
Wahrscheinlichkeit)

Für Gleichstrom konnten zunächst nur die Zonen
1 und 2 festgelegt werden, da für weitere Angaben
die vorliegende Literatur nicht für ausreichend
angesehen wurde.

Zone 1: Normalerweise keine Reaktion

Zone 2: Normalerweise keine pathophysiologisch
gefährlichen Effekte

Die Kurven C und D sind durch eine begrenzte Zahl
von Hunderversuchen, die KNICKERBOCKER in den USA
durchgeführt hat, gewonnen worden. Sie stellen
die Gefahr des Herzkammerflimmerns für 0,5 %
und 50 % Wahrscheinlichkeit einer einzigen Ver-
suchsreihe dar, und können also nur einen ge-
wissen Anhalt geben.

Die Messung der Verschiebestrome an unseren
Probanden und die Literaturhinweise haben er-
geben, daß für die durchgeführten Untersuchungen

nur der Bereich I in Betracht kommt. Die aufgetretenen Verschiebeströme bleiben unter der Empfindungsgrenze.

IX Zusammenfassung und Diskussion

Die im Rahmen der Meteorobiologie durchgeführten Untersuchungen beziehen sich in erster Linie auf den Bereich der natürlichen Wechselfelder von 0 - 15 Hz und über 10 000 Hz. Zahlreiche Versuche wurden im MegaHz-Bereich ausgeführt.

Bei der Beurteilung der Ergebnisse müssen die unterschiedlichen Frequenzbereiche, die Feldintensitäten, die Versuchsanordnungen, die Einwirkungszeiten und die Tierarten berücksichtigt werden. Es können deshalb, wie die Literaturübersicht auch zeigt, keine unmittelbaren Vergleiche gezogen werden.

Im Frequenzbereich von 0 - 15 Hz wurden als Einflußgrößen Veränderungen der Reaktionszeit, der vegetativen Abläufe und der Tagesrhythmik beobachtet. Auch Rückwirkungen auf den intermediären Stoffwechsel werden angegeben. Neben einem Einfluß auf diese Parameter werden in höheren Frequenzbereichen (über 10 000 Hz) Wechselbeziehungen zum Ausbruch und Verlauf von Erkrankungen, zu Verkehrs- und Betriebsunfällen, zum Eintritt von Todesfällen und Geburten, zur allgemeinen Verhaltensweise und zum Tumorstadium angeführt. Bei verschiedenen Tierarten wurden die zum Tode führenden Strahlenintensitäten festgestellt.

Über die Wirkung energietechnischer Felder auf den Menschen liegen bisher nur wenige Untersuchungen vor. DE LORGE et al. konnten bei ihren Untersuchungen an Primaten keine von der Norm abweichenden Ergebnisse finden. Die Veröffentlichung von TAGAKI und MUTO gibt keine Hinweise für schädliche Einflüsse auf den Menschen.

Auch KOEPPEN kam bei seinen orientierenden Versuchen zu einem Gutachten zu keinen anderen Ergebnissen.

Sehr gründliche und eingehende Überwachungsuntersuchungen von Personen, die über Monate und Jahre bei ihrer Tätigkeit energietechnischen Feldern ausgesetzt waren, wurden von KNICKERBOCKER und seinen Mitarbeitern durchgeführt. Eine Beeinträchtigung des Gesundheitszustandes konnte nicht beobachtet werden.

STRUMZA führte Erhebungen über Personenkollektive, die in unmittelbarer Nähe von Hochspannungsanlagen lebten durch und konnte im Hinblick auf den Gesundheitszustand keine Unterschiede gegenüber Vergleichsgruppen feststellen.

Es kann also festgehalten werden, daß unter Berücksichtigung der untersuchten Parameter und der Untersuchungsmethoden bei den erfaßten Personen keine Störungen des Wohlbefindens oder schädigende Einwirkungen zu beobachten waren. Dabei muß hervorgehoben werden, daß, soweit im Bereich von

Hochspannungsanlagen lebende oder arbeitende Personen untersucht wurden, es sich um Anlagen unter 400 kV handelte.

Die von KOROCHKOVA et al. im CIGRE-Bericht 23-06 der Konferenz vom 28. 8. - 6. 9. 1972 in Paris angegebenen Untersuchungen beziehen sich auf Hochspannungsanlagen über 400 kV. Sie wurden nochmals zusammengefaßt in einem Referat, das FILIPPOV auf dem 2. Internationalen Kolloquium der Internationalen Sektion der ISSV zur Verhütung von Arbeitsunfällen und Berufskrankheiten durch Elektrizität 1972 in Köln gab. Danach zeigte sich die Feldwirkung auf den menschlichen Körper in geringerer nervöser Reizbarkeit, in niedrigerem arteriellem Blutdruck und in langsamerer Herzaktion. Klinisch wurden eine funktionelle Unruhe des zentralen Nervensystems und des kardiovaskulären Systems, eine Retikulositis und qualitative Veränderungen der Neutrophilen festgestellt. Nach Testversuchen im Labor wurden die bereits angegebenen Begrenzungen der Aufenthaltsdauer im elektrischen Feld festgelegt. Diese Ergebnisse geben zu denken und bedürfen einer kritischen Überprüfung.

Die eigenen Untersuchungen wurden an Versuchspersonen durchgeführt, da Tierversuche nicht ohne weiteres auf den Menschen übertragen werden können. Voraussetzung war, daß für Leben und Gesundheit dieser Personen keine Gefahr bestand und eine ärzt-

liche Überwachung stattfand. Die Versuchsbedingungen wurden weitgehend den natürlichen Gegebenheiten angepaßt. Die Versuchspersonen waren gerundet. Die maximale ungestörte Feldstärke des 50-Hz-Wechselfeldes betrug 20 kV/m, die längste Einwirkungszeit des Feldes 2 Stunden. Die untersuchten Parameter, Reaktionszeit, Herzfrequenz, Blutdruck, EKG und EEG waren nicht willkürlich gewählt worden, sondern werden in der einschlägigen Literatur immer wieder angeführt. Hierzu sollten eigene Erfahrungen gesammelt werden.

Die genannten Parameter werden alle mehr oder weniger durch das vegetative Nervensystem beeinflusst und Veränderungen können multifaktoriell bedingt sein. Es konnte nur beobachtet werden, ob reproduzierbar signifikante Veränderungen durch die Einwirkung elektrischer Wechselfelder auftreten würden. Besonders kritisch ist das Verhalten der Reaktionszeit zu werten, denn sie unterliegt sehr zahlreichen internen und externen Einflüssen. Auch tageszeitliche Schwankungen sind zu berücksichtigen, weshalb die Untersuchungsgruppen jeweils zur gleichen Tageszeit und unter denselben äußeren Bedingungen untersucht wurden.

Bei der Testung der Reaktionszeit über einen längeren Zeitraum treten Ermüdungserscheinungen ein, die sich in einer zunehmenden Verlangsamung zeigen. Durch die Einwirkung elektrischer Wechselfelder ist ein leichter Stimulationseffekt zu bemerken, der aber im Feldbereich von 1 - 20 kV/m nicht proportional zur Feldstärke zu sein scheint. Eine gewisse

individuelle Empfindlichkeit ist in Betracht zu ziehen. Die Abweichungen gingen in keinem Falle über den physiologischen Rahmen hinaus.

Die Herzfrequenz ging bei den Versuchen bis max. 20 % zurück, und zwar ergab sich ein kontinuierlicher Abfall, der vielleicht bei Feldeinwirkungen etwas stärker ist als ohne Feld, aber auch ohne Feld beobachtet wird. Hier ist vor allem an einen Beruhigungseffekt zu denken, denn die Versuchsperson sitzt während der ganzen Versuchszeit ruhig auf einem Stuhl. Eine signifikante Feldabhängigkeit läßt sich nicht nachweisen. Wenn bei der Serie F zu Beginn am Nachmittag nach einer 2-stündigen Feldbelastung am Vormittag der Puls bei 6 von 10 Personen um etwa 10 % erhöht war gegenüber den Tagen ohne vormittägliche Belastung, so ist diese Beobachtung bei weiteren Versuchen näher abzuklären. Bei der Serie B mit 1,5-stündiger Vorbelastung am Vormittag, allerdings mit geringeren Feldstärken, war eine ähnliche Beobachtung nicht gemacht worden.

Durch das elektrische Wechselfeld 50 Hz hat der Blutdruck im Beobachtungszeitraum weder systolisch noch diastolisch deutliche Abweichungen gezeigt.

In EKG und EEG waren keine durch die Feldeinwirkung bedingten Veränderungen erkennbar.

Beim Einschalten eines Wechselfeldes änderte sich die Ionisation der Luft im Versuchsraum, und zwar fielen die positiven und negativen Ionen gleichermaßen ab. Nach Abschalten des Feldes erreichten sie wieder die Ausgangswerte. Wenn man dazu die Angaben in der Literatur vergleicht, dürften durch diese geringen Ionenverschiebungen kaum biologische Wirkungen ausgelöst werden. Es ergab sich auch kein Anhalt dafür.

Eine wesentliche Bedeutung dürfte dem Verschiebestrom zukommen. Bei diesen Untersuchungen blieb er bei den geerdeten Testpersonen unter 0,5 mA, d. h. unterhalb der Empfindungsgrenze. Ob und inwieweit dem Verschiebestrom biologische Effekte zuzuschreiben sind, bleibt einer späteren Überprüfung vorbehalten. Im Rahmen dieser Arbeit konnte nur die Größenordnung unter den angeführten Versuchsbedingungen aufgezeigt werden.

Die Versuchspersonen haben, außer gelegentlichen leichten Kopfschmerzen, nicht über irgendwelche gesundheitlichen Störungen während oder nach der elektrischen Feldeinwirkung geklagt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß unter den angegebenen Versuchsbedingungen bei den Versuchspersonen die nach den aufgeführten Methoden gemessenen Parameter keine pathologischen Veränderungen aufwiesen. Soweit geringe Abweichungen angenommen werden können, liegen

sie im physiologischen Bereich. Auch beachtenswerte subjektive Störungen sind nicht beobachtet worden.

Die Einwirkungszeiten der getesteten Felder waren relativ kurz und einmalig. Die Untersuchungen geben keine Aussage über Langzeitwirkungen oder täglich sich wiederholende Einwirkungen. Nach der einschlägigen Literatur, die in dieser Arbeit angegeben ist, wurden bei Anlagen unter 400 kV, auch bei Langzeiteinwirkung, keine Beobachtungen über gesundheitliche Beeinträchtigungen gemacht. Weitere Untersuchungen dürften noch erforderlich sein.

Literaturverzeichnis

ALTMANN, G.,

Einfluß physikalischer Faktoren
auf Organismen.

Wetter-Boden-Mensch 9, 1970

Der Einfluß statischer elektrischer Felder auf den Stoffwechsel der Insekten.

Z. Bienenforsch. 4, 1959

Die physiologische Wirkung elektrischer Felder auf Tiere.

Verb. d. Dtsch. Zool. Ges. 1962

Weitere Untersuchungen der physiologischen Wirkung elektrischer Felder auf Tiere.

27 Verb. d. Dtsch. Zool. Ges. 1968

Die physiologische Wirkung elektrischer Felder auf Organismen.

Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. B 17, 269, 1969

ANDERSEN, I.,

The effect of ionized air on ciliary activity and mucus flow in trachea.

Fifth Internal Biometerological Congress
Montreux, Schweiz 1969

ASSANOVA, T.P.,
RAKOV, A.I.,

The state of health of persons working in electric field of outdoor 400 and 500 kV switchyards.

Hygiene of labour and professional diseases, No. 5, 1966

- ASCHOFF, J., Circadian rhythms in man.
Science 148, 1427-1432, 1965
- Exogenous and endogenous components
in circadian rhythms.
- Cold Spr. Harb. Symp. quant. Biol.
25, 11-27, 1960
- ASCHOFF, J., Desynchronisation of human circadian
GERECKE, U., rhythms.
WEVER, R., Jap. J. Physiol. 1967
- BACHMANN, C.H., Peak changes in electrocardiograms
McDONALD, R.D., of rats exposed to air ions.
et al. Int. J. of Biometeor., Amsterdam,
 10, 101, 1966
- Some effects of air ions on the
activity of rats.
- Int. J. of Biometeor., 10, 39, 1966
- Some physiological effects of
measured air ions.
- Int. J. of Biometeor., 9, 127, 1965
- BARNES, H.C., Rational analysis of electric fields
et al. in live line working.
- IEEE transactions on power apparatus
and systems, Vol.: PAS-86, No. 4,
Apr. 1967

- BARNOTHY, M.F., Biological effects of magnetic fields. Vol. I
Plenum Press, New York, 1964
- Biological effects of magnetic fields. Vol. II
Plenum Press, New York, 1969
- BREZOWSKY, H., Pathologische Reaktionen auf
GRIMMEISEN, H., biotrope Wetterphasen.
Therapie der Gegenwart, 106 (3)
341, 1967
- BURGESS, T.J., Live line maintenance.
CIGRE, Paris, France, paper 411, 1962
- BUSBY, D.E., Space biomagnetics.
Space Life Sciences, Vol. I, 23-63,
1968
- CHILES, W.D., A study of the effects of ionized
CLEVLAND, J.M., air on behaviour.
FOX, R.E., Wright Air Development Division,
Techn. Report 60-598.
Wright-Patterson Air Force Base,
Ohio, 1960.
FD. Met. Geoastr. Abstr. 14-1, 442,
1963
- COMSA, R.P., Transient Electrostatic Induction
LUKEY, H., by EHV Transmission Lines.
IEEE Transact. on power app. and
systems, Vol. PAS-88, No. 12, 1969

- CORONITI, S.C., Problems of Atmospheric and Space Electricity.
Elsevier Publishing Company, 1965
- DAMASCHKE, K., Korrelation der Atmungsintensität
BECKER, G., von Termiten zu Änderungen der Impulsfrequenz der Atmospherics.
Z. Naturforsch., 19, 1964
- DAVIS, J.B., Review of Scientific Information on the Effects of Ionized Air on Human Beings and Animals.
Aerospace Medicine, 34, 35-42, 1963
- DAVIS, L.D., Bibliography of the biological effects
PAPPJOHN, K., of magnetic fields.
et al. Federation Proc., 21, USA 1962
FD. NSA 17, Ref. Nr. 28, 1963
- DE LORGE, I., Operant behaviour of Rhesus Monkeys in the presence of extremely low frequency - low intensity magnetic and electric fields: Experiment I
NAMRL-1155. Naval Aerospace Medical Research Laboratory, 1972
- DEUTSCH, J., Abschirmung von Meßräumen und Meßgeräten gegen elektromagnetische Felder.
ZINKE, O., Frequenz 7, 94-101, 1953

- DELEANU, M. C.,
FRITS, T.,
Non specific biological action
of aero ionization.
Inst. of Hygiene, Str. Pasteur 6,
Cluj, Romania;
Working Group 12, Univers. of Pennsyl-
vania, Philadelphia 46, 1963
- EDSTRÖM, G.,
Der Einfluß unipolar beladener Luft
auf die Chronaxie motorischer Ner-
ven.
Phys. Therapie, 42, 1932
- EICHMEIER, J.,
Eigenschaften und biologische Wirkung
atmosphärischer Kleinionen.
Elektromedizin 8, Nr. 1, 1963
Umschau 64, 420-422, 1964
Wirkung atmosphärischer Ionen auf
Biorhythmen bei Menschen.
Physikalisch-Diätische Therapie 5,
1-5, 1964
Der bioklimatische Einfluß künstlich
erzeugter atmosphärischer Kleinionen
auf das Respirogramm, Elektrokardio-
gramm und Elektroenzephalogramm des
Menschen.
Dissertation München 1962 (TU)
- FAUST, U.,
Messungen des Zeitverhaltens des
elektrischen Widerstandes von Haut-
und Reaktionsstellen nach Croon.
Zeitschr. Elektromedizin B 14, 5,
189, 1969

FRIEDMANN, H.,
BECKER, R.O.,
BACHMANN, C.H.,

Effect of magnetic fields on
reaction time performance.

Nature 213, 949-956, 1967

FRIEDRICH, H.,

Erzeugung und Messung atmosphärischer
Ionen für medizinische Untersuchungen
und ihr Einfluß auf Reaktionszeit und
Muskelreflex des Menschen.

Dissertation TU München 1966

Einfluß atmosphärischer Kleinionen
auf die einfache visuelle Reaktions-
zeit des Menschen.

Umschau 11, 360, 1966

GAVALAS, R.J.,
WALTER, D.O.,
HAMER, J.R.,
ADEY, W.R.,

Effect of low-frequency electric
fields on EEG and behaviour in
Macaca Nemestrina.

Brain Research 18, 491-501, 1970

GLASER, R.,

Elektromagnetische Felder und
belebte Natur.

Naturwiss. Rundschau 10, 431, 1968

GOURMEL, M.,
SCHREIBER, G.,
et al.

Contribution a l'étude des variations
de la charge spatiale et de ses incidences
biologiques.

Bull. Soc. Pharm., Bordeaux, 103, 49,
1964

GRISSET, J.D.,

Exposure of squirrel monkeys for long
periods to extremely low-frequency
magnetic fields.

NAIRU-1146. Pensacola, Fla.: Naval Aero-
space Medical Research Laboratory, 1971

- GRISSET, J.D.,
DE LORGE, J.,
Central-nervous-system effects by
reaction time in squirrel monkeys
exposed for short periods to extreme-
ly low-frequency magnetic fields.
NANRL-1137. Pensacola, Fla.: Naval
Aerospace Medical Research Laboratory,
1971
- GROSSGEBAUER, K.,
HARTMANN, D.,
Zur biologisch-therapeutischen Be-
deutung künstlicher Luftionen.
Medizinal-Markt/Acta Medicotechnica,
10, 408-410, 1961
- HAHN, F.,
Bakterizide und bakterostatische
Wirkung schwacher elektrischer
Gleichfelder.
Ars medici, 6, 403-407, 1963
- HAINE, E.,
KÖNIG, H.,
Über die Behandlung von Blattläusen
(Myzus persicae Sulz) mit elektri-
schen Feldern.
Z. angew. Entomologie 47/4, 459-463,
1960
- HAMBURGER, R.J.,
On the influence of artificial ionization
of the air on the oxygen uptake during
exercise.
Pergamon Press, 1962
- HAMER, J.R.,
Effects of low-level, low-frequency
electric fields on human reaction
time.
Commun. Behav. Biol., Part A, 2,
217-222, 1968

- HAMER, J.R., Effects of low-level, low-frequency electric fields on human time judgment.
Fifth International Biometerological Congress, Montreux, Schweiz, 1969
- HARMSEN, H., et al. Über die tödliche Wirkung von Meterwellen auf Insekten.
Arch. Phys. Therap., 5, 331, 1953
- HERBST, W., Befunde und Bemerkungen zum Problem der biologischen Wirkungen elektromagnetischer Felder.
Wetter-Boden-Mensch 12, 1971
- HIRSCH, F.G.,
McGIBONEY, D.R.,
et al. The physiologic consequence of exposure to high density pulsed electromagnetic energy.
Int. J. Biometeor., 12, 263, 1968
- HÖBER, R., Physikalische Chemie der Zellen und Gewebe.
Bern 1947
- HÜSING, J. O., Biene und Elektrizität.
Der Imkerfreund 8, 272, 1964
- HÜSING, J.O.,
STRAUSS, F.,
WEIDE, W., Über Reaktionen der Honigbienen gegenüber starken elektrischen Feldern.
Naturwiss. 47, 22-23, 1960
- ILAR, F., Besondere Schutzbestimmungen in der UdSSR bei Arbeiten in Höchstspannungsanlagen.
Bull. SEV 4, 1972

- JAHNKE, H., Synchronisierung biologischer Rhythmen durch die 10 Hz-Frequenz.
Wetter-Boden-Mensch 7, 1969
- JAKOB, G.,
STEINBEIGLER, H.,
WIESINGER, J., Das elektrische Feld unter Hochspannungsfreileitungen.
Bull. ASE 63, 24, 25. Nov. 1972
- KANZ, E., Neues über die Wetterwirkung auf die psychologische Reaktionslage des Menschen.
Arch. phys. Ther. 211, 3, 1951
- KATONA, Z., Die natürliche und künstliche Ionisation und ihre medizinischen Anwendungen.
Elektromedizin 8, (2) 95, 1963
FD. Zbl. biol. Aerosolforsch. 12, (3) 869, 1965
- KAUFMANN, W., Der umbaute Raum und seine techn. Einrichtung als biolog. Störfaktor.
Wetter-Boden-Mensch 3, 1968
- KHOLODOV, Yu.A., The effect of electromagnetic and magnetic fields on the central nervous system.
Translation: NASA TT F-465.
Washington D.C. National Aeronautics and Space Administration 1967
- KLOTZ, R., Über die Wetterempfindlichkeit - elektrische Leitfähigkeit der Luft und vegetatives System.
Med. Welt 9, 1936
I.J.N.B. Vol. II, 1958

KNICKERBOCKER, G., Exposure of mice to a strong AC
et al. electric field. - An experimental
study.

IEEE transactions on power
apparatus and systems, Vol.
PAS-86, No. 4, Apr. 1967

KNOEPP, L., The effect of low electrical
et al. frequencies on various normal
and malignant cells.

Texas Rept. Biol. Med., 20,
623, 1962

KNOLL, M., Physikalische und biologische
EICHMEIER, J., Wirkung von in Luft gebildeten
'Kleinionen'.

Elektromedizin 7, 1962

KÖNIG, H.L., Gutachten zur Verlegung einer
110 kV-Freileitung bei Hilchen-
bach.

Nicht veröffentlicht! 1971

Gegendarstellung zum Gutachten
Tischer betr. 110 kV-Freileitung
Hilchenbach.

Nicht allgemein zugänglich, Jan. 1972

Prozeßgutachten zur Einwirkung von
EMF auf Stecksplitters und Schmerz-
empfindlichkeit von Narben.

Nicht allgemein zugänglich, L 15/V
138/64

Stellungnahme zur Errichtung einer
380 kV-Freileitung im Siedlungsge-
biet Hamburg-Wesenbalken.

Nicht allgemein zugänglich, 1963

KÖNIG, H.L.,

Elektromagnetische Felder und
lebende Natur.

Wetter-Boden-Mensch 10, 1970

Biological effects of extremely
low frequency electrical phenomena
in the atmosphere.

J. interdiscipl. Cycle Res. Vol. 2,
Nr. 3, 317-325, 1971

KÖNIG, H.L.,
AMMERHÜLLER, F.,

Über den Einfluß besonders nieder-
frequenter elektrischer Vorgänge
in der Atmosphäre auf den Menschen.

Die Naturwissenschaften 47, 1960

KÖNIG, H.L.,
KRAUPEL-LAMPRECHT,

Über die Einwirkung niederfrequen-
ter elektrischer Felder auf das
Wachstum pflanzlicher Organismen.

Mikrobiol. 34, 204, 1959

KOEPPEN, S.,

Gedachten über den Einfluß von
elektrischen Wechselfeldern
(50 Hz) auf den Menschen unter
einer 300 kV-Freileitung.

Nicht allgemein zugänglich, 1964

KORCHKOVA, V.P.,
et al.

O normah i pravilah po ohrane
truda pri rabotah na podstanziyah
i VL naprjaseniiem 400, 500 i
750 kV.

Energetik 11, 33-35; 12, 28-30, 1971

Influence of the electric field in
500 and 750 kV Switchyards on
maintenance staff and means for
its protection.

CIGRE-Bericht 23-06, 1972

- KORNBLUEH, I.E.,
et al. Relief from pollinosis in
negatively ionized rooms.
Amer. J. Phys. Med. 37, 18, 1958
- KORNBLUEH, I.H.,
GRIFFIN, J.E., Artificial air ionization in
physical medicine.
Amer. J. Phys. Med. 34, 618, 1955
- Ionization of the air.
Int. J. Biometeor. 6, 29, 1962
- KOTAKA, S.,
KRÜGER, A.P.,
ANDRIESE, P.S., Air ions effects on the oxygen
consumption of barely seedlings.
Nature 206, 1112-1113, 1965
- KOUWENHOVEN, W.B.,
et al. Body currents in live line working.
IEEE transactions on power apparatus
and systems, Vol. PAS-85, Apr. 1967
- Medical evaluation of man working
in AC electric fields.
IEEE trans. on power apparatus and
systems, Vol. PAS-86, No. 4, Apr.
1967
- KREESE, H., Prinzipien und kritischer Vergleich
einiger peripherer Pulsabnehmer.
Z. Elektromedizin B 1, H 1, 25, 1968
- KRIVOVA, T.I., Electrical discharge influence upon
a man.
Proc. of the 3-rd All Union Symposium.
Hygiene of labour and biological
effects of radio frequency electro-
magnetic waves. Moskow, 1968

KRUEGER, A.P.,
ANDRIESE, P.C.,

The effects of inhaling non-ionized or positively ionized air containing 2-4 % CO₂ on the blood levels of 5-hydroxytryptamine in mice.

Int. J. Biometeor. 10, 17, 1966

KRUEGER, A.P.,
ANDRIESE, P.C.,
et al.

Small air ions: Their effect on blood levels of serotonin in terms of modern physical theory.

Int. J. Biometeor. 12, 225, 1968

KRUEGER, A.P.,
KOTAKA, S.,

Some observations on the physiological effects of gaseous ions.

Int. J. Biometeor. 6, 33, 1962

Air ions and pulmonary clearing.

Biometeorologie 4, (2) 137, 1969
5. Int. Biomet. Congr. Montreux

KRUEGER, A.P.,
SMITH, R.F.,

The effects of air ions on the living mammalian trachea.

J. Gen. Physiol. 42, 69-82, 1958

Effects of gaseous ions on tracheal ciliary rate.

Proc. Soc. exp. Biol. (N.Y.) 98,
412, 1958

KRUEGER, A.P.,
SMITH, R.F.,
ING. GAN GO,

The action of air ions on bacteria. I. Protective and lethal effects on suspensions of staphylococci in droplets.

J. Gen. Physiol. 41, 359-381, 1957

- KUBKOWA, A.,
RACKOW, B., Grundsätzliches zum Problem der
Potentialmessungen an der Haut.
Elektromed. B 3, 1960
- KÜSTER, E.,
FRIEBER, W., Die neueren Ergebnisse von Unter-
suchungen über die Einwirkung
künstlich ionisierter Luft auf den
Organismus höherer Lebewesen.
Z. Meteorol. Bioklim. Beiblätter 3,
54, 1943
- KUSMINA, T.R., The effect of inhalation of air
ions on the electro-chemical
properties of blood during
exsanguination and recovery of
cats.
Int. J. Biometeor. 11, 191, 1967
- LAMPERT, H., Die klinische Seite des Luftionen-
problems.
Schriftenreihe d. Dt. Bäderverb.
9, 156, 1953
- LANE, J.E., Principles, Practices and Prospects
of the Live Line Barehand Method.
Published by Ohio Brass Company,
O-B Publ. Nr. 1576-LI
- LAUB, J., Über Schwankungen atmosphärischer
Ionen und ihre biologische Wirkung.
Bull. schweiz. Akad. Med. Wiss. 20,
292-304, 1960
- LEE, W.R.,
ZOLEDZICWSKI, S.,
TENIYACHOL, S., Effects of pulsed currents on
respiration and the heart.
British Journal of Industrial Medicine,
24, 220, 1967

- VAN LEEUVEN, B.,
STORM,
VAN NIEREK,
Luftelektrizität und Föhnkrank-
heit.
Gerlands Beitr. z. Geophysik
38, 407, 1933
- LENMERZ, A.H.,
Räumliche Richtung und Größe der
Momentanvektoren während der Herz-
aktion.
Zeitschr. Elektromedizin B 13,
H 3, 1968

Einfluß des Elektroden-Haut-Über-
gangswiderstandes auf das EKG.
Z. Elektromedizin B 15, H 1, 12,
1970
- LORENZUTTI, W.,
et al.
Ein System für die digitale Daten-
erfassung und Verarbeitung in der
Nuklearmedizin.

Sonderdruck, Herkunft nicht erfaßbar.
- LOTHMAR,
RANSCHT-FROEMSDORF,
WEISE,
Dämpfung der Gewebeatmung von Mäuse-
leber durch künstliche Impulsstrah-
lung.
Naturwissenschaften 56, 91, 1969
- LUDWIG, H.W.,
Der Einfluß von elektromagnetischen
Tiefstfrequenz-Wechselfeldern auf
höhere Organismen.
Biomedizin. Technik 16, (2) 67, 1971
- LUDWIG, W.,
MECKE, R.,
Wirkung künstlicher Atmospherics auf
Säuger.
Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. B 16,
251, 1968

- LUDWIG, W.,
MECKE, R.,
SEELEWIND, H., Elektroklimatologie
Arch. Met. Geophys. Bioklim.
Ser. B, 16, 237, 1968
- LUEDER, H., Elektroklimatisierung im Hinblick
auf die biologischen Wirkungen luft-
technischer Anomalien.
Klima-Technik 2, 22, 1966

Statistischer und objektiver Nach-
weis elektroklimatischer Wirkungen
auf die Abwehrkräfte und das vege-
tative Nervensystem des mensch-
lichen Organismus.
Wetter-Boden-Mensch 3, 1968
- MALYSCHewa, I.N., Klimaphysiologische Bedeutung der
Luftionisation.
Westnik Akademii Medizinskich Nauk
Nr. 7, 1964
- MAURER, G.,
BENNET, P., Wetter und Jahreszeit in der
Chirurgie.
Votr. aus der prakt. Chirurgie
20, 1966, Enke Verl. Stuttgart
II. Aufl.
- MAYYASI, A.M., Effects of direct electric fields
on maze performance in rats.
Fifth International Biometeorol.
Congress, Montreux, Schweiz, 1969
- McDONALD, R.D.,
BACHMANN, C.H.,
et al. Some physiological effects of air
ion treatment without ion inhalation.
Int. J. Biometeor. 9, 141, 1965

- MIKSCH, C., Über das Problem der elektrischen
Reizung des menschlichen Gehirns
und der gleichzeitigen strömungs-
freien Aufzeichnung des Elektro-
enzephalogrammes.
Diplomarbeit TU München 1964
- MILLER, Jr., C.J., The measurement of electric fields
in live line working.
IEEE transactions on power apparatus
and systems. Vol. PAS-86, No. 4,
Apr. 1967
- MINCH, A.A., The effect of ionized air on work
capacity and vitamin metabolism.
Proceedings of International
Conference on Ionization of the
Air, Sect. XIII, 1-16, 1961
Biological and Hygienic significance
of air ionization.
Inst. of Phas. Culture and Training
and Stomatological Medic. Inst.
Moscow, UdSSR, Working Group 12,
Univ. of Pennsylvania, Philadelphia
46, 1963
- MOOS, W.S., A preliminary report on effects
of electric fields on mice.
Aerospace Medicine, Vol. 35,
pp. 374-377, Apr. 1964
- MCROZOV, Yu.A.,
GRCHOV, O.I., Device for the measurement of
industrial frequency electric
field intensity.
Scientific publications of the
institutes of labour protection
of the All-Union Central Council
of Trade Unions, issue 65, Profizdat,
1970

MÖSE, J.R.,
FISCHER, G.,

Zur Wirkung elektrostatischer
Gleichfelder, weitere tierex-
perimentelle Ergebnisse.

Arch. f. Hygiene und Bakt. 1970

MÖSE, J.R.,
FISCHER, G.,
FISCHER, M.,

Beeinflussung des Serotoningehaltes
von Gehirn, Darm und Uterus durch
das elektrische Gleichfeld.

Zeitschr. für Biologie 1969

Einfluß des elektrostatischen Gleich-
feldes auf die Wirkung einiger die
glatte Muskulatur stimulierender
Pharmaka.

Z. für Biologie, S. 354-363, 1969

MÖSE, J.R.,
FISCHER, G.,
PORTA, J.,

Die Wirkung des elektrostatischen
Gleichfeldes auf den Sauerstoff-
verbrauch der Mäuseleber.

Arch. f. Hygiene und Bakt. 1971

MÖSE, J.R.,
SCHUY, S.,
FISCHER, G.,

Versuchsanlage zum Studium der
Wirkung von elektrostatischen
Gleichfeldern an kleinen Labora-
toriumstieren und die damit er-
zielten Ergebnisse.

Biomed. Technik, Band 17 Nr. 2,
1972

MÜHLEISEN, R.,

Überlegungen zum Einfluß künstlicher
elektrischer Felder auf den Aerosol-
gehalt von Innenräumen.

Zentralbl. f. biol. Aerosolforschung,
13, 129, 1966

Messungen elektrischer Felder inner-
halb von Tierkäfigen.

Z. f. vergleichende Physiologie 54,
20, 1967

- PAVLIK, I., Significance of Air Ionization.
Medical Climatology, Sidney Licht,
M.D., 1964
- The fate of light air ions in
 the respiratory pathways.
- Int. J. Biometeor. 11, 175, 1967
- PERSINGER, M.A., Open-field behaviour in rats ex-
 posed prenatally to a low-frequency
 rotating magnetic field.
- Developmental Psychology 2, (3)
 168-171, 1969
- PERSINGER, M.A., Prenatal exposure to an ELF-rotating
PEAR, J.J., magnetic field and subsequent increase
 in conditioned suppression.
- Developmental Psychobiol. 5, 269-
 274, 1972
- PFURTSCHELLER, G., Einsatz elektronischer Datenverar-
 beitungsanlagen bei der Analyse
 der spontanen und evozierten Hirn-
 aktivität.
- msr 14 H. 5, 1971
- Korrelation zwischen -Rhythmus und
 gemittelten kortikalen Reizantworten.
- EEG/EMG Bd. 1, Nr. 4, 1970
- Objektivierung bioelektrischer Hirn-
 aktivitätsänderungen mit Hilfe des
 Computers.
- Biomedizinische Technik Bd. 16,
 Nr. 6, 1971

- POPA, M.M., Response of guinea-pig adrenals to continuous and arrhythmic interrupted low electromagnetic fields.
Fifth International Biometeorol. Congress, Montreux, Schweiz, 1969
- PRESMAN, A.S., Electromagnetic Fields and Life.
(UdSSR) Transl.: Plenum Press New York 1970
Zugvögel und Magnetfelder.
Bild der Wissenschaft 3, 1969
- RAJEWSKY, B., Luftionen und ihre biologische Anwendung.
Strahlentherapie 48, 125-148, 1933
- REIFFERSCHIED, H., Untersuchungen zum Einfluß künstlicher elektrischer Felder auf den Aerosolgehalt von Innenräumen.
Zentralbl. f. biol. Aerosolforschung 13, 109, 1966
- REILLE, A., Essai de mise en evidence d'une sensibilité du pigeon au champ magnetique a l'aide d'un conditionnement nociceptif.
J. Physiol. Paris, 30, 85-92, 1968
- REINDERS, H., Ein Beitrag zur Klärung der Einflüsse elektrischer Gleichstromfelder auf die Gestaltung der Raumluft in Aufenthaltsräumen.
Kaarst. Niederrhein-Verlag, Heinrich Pfaar, OHG, 1964

REITER, R.,

Meteorobiologie und Elektrizität
der Atmosphäre.

Akad. Verlagsgesellschaft Geest &
Portig KG, Leipzig, 1960

Gibt es einen direkten Kausalzu-
sammenhang zwischen raschen elek-
trischen oder elektromagnetischen
Feldänderungen und biometeoro-
logischen Reaktionen?

Med.-Meteorol. Hefte 9, 35, 1954

A Survey of Human Biometeorology.

World Meteorological Organisation,
Technical Note Nr. 65, WMO-Nr. 160,
TP. 78, 1964

Nachweis der biologischen Wirksam-
keit elektrischer Wechselfelder
niedriger Frequenz.

Die Naturwissenschaften 41, 22,
1954

Sind luftelektrische Größen als
Komponenten des Bioklimas in Be-
tracht zu ziehen?

HLH 21, Nr. 8, 1970

Welche atmosphärisch-elektrischen
Elemente können auf den Organismus
einwirken?

Bäder- und Klimaheilkunde 10, 161,
1963

RHEINSTEIN, J.,
KNOLL, M.,

Der Einfluß von künstlich erzeugten atmosphärischen Ionen auf die einfache Reaktionszeit und auf den optischen Moment.

Doktorarbeit TU München 1960

RÖDE, D.,
FESSL, F.,

Elektronisches Steuergerät für Serienreaktionszeitmessung.

Zulassungsarbeit Hochspannungsinstitut TU München 1973

RORDEN, H.L.,
et al.

500 kV live line maintenance.

IEEE Trans. on power apparatus and systems, Vol. PAS-85, pp. 571-573, Juni 1966

RUSSO, F.,
CALDWELL, W.E.,

Biomagnetic phenomena: Some implications for the behavioural and neurophysiological sciences.

Genetic Psychiol. Monographs, 84, 177-243, 1971

SAZONOVA, T.E.,

Physiological and hygienic assessment of labour conditions at 400-500 kV outdoor switchyards.

Scientific publications of the institutes of labour protection of the All-Union Central Council of Trade Unions, issue 46, Profizdat, 1967

SCHÄFER, H.,

Die Einwirkungen des elektrischen Stromes auf wichtige innere Organe.

D. Z. gerichtl. Med. 47, 5, 1958

- SCHMID, A., Biologische Wirkungen der Luft-
elektrizität unter Berücksichtigung
der künstlichen Ionisierung.
Verlag Paul Haupt, Bern-Leipzig,
1936
- SCHUA, L., Die Fluchtreaktion von Goldhamstern
aus elektrischen Feldern.
Naturwiss. 50, 514, 1953

Die Wirkung von luftelektrischen
Feldern auf Tiere.
Verh. Deutsch. Zoolog. P. 435,
Tübingen, 1954
- SCHULDT, H.H., Beiträge zur fortlaufenden unblutigen
HOFFMANN, F., Registrierung des arteriellen Blutdrucks
am Menschen.
Zeitschr. Kreislaufforsch. 48,
101-106, 1959
- SCHULZE, K.H., Die Bedeutung der Luftionisation
unter besonderer Berücksichtigung
der Elektroaerosole und der Direkt-
aufladung des Menschen.
Dissertation Univ. Köln 1967
- SCHULZE, R., Strahlenklima der Erde.
Dr. Dietrich Steinkopff-Verlag,
Darmstadt, 1970
- SCHWAN, H.P., The conductivity of living tissue.
KAY, D.F., Ann. N.Y. Acad. Sci., p. 1007, Aug. 1957
- SCHWENKHAGEN, H.F., Prozeßgutachten zur Errichtung einer
110 kV-Freileitung.
IV A 946/54 - 4 K 206/53, 1955

- SIIRIDE, E., Observations on the physiological effect of electroaerosols on man.
Fifth Int. Biometeorol. Congress, Montreux, Schweiz, 1969
- SOLOVIEV, N.A., Zum Mechanismus der biologischen Wirkung eines impulsförmigen Magnetfeldes.
Ber. Akad. Wiss. UdSSR, Bd. 149, 2, 438-441, 1963
- SPITTKA, O.V.,
TAEGE, M.,
TEMBROCK, G., Experimentelle Untersuchungen zum operanten Trinkverhalten von Ratten im 50-Hz-Hochspannungswechselfeld.
Biologisches Zentralblatt 88, 273-282, 1969
- STEBBINS, W.C.,
MILLER, J.M., Reaction time as a function of stimulus intensity for the monkey.
J. Exp. Anal. Behav., 7, 309-312, 1964
- STREUBEL, H.,
REISSMANN, A., Kapazitive Aufladung von Menschen und metallischen Gegenständen.
Elektrie 1, 29-34, 1964
- STRUMZA, M.V., Effects au voisinage du sol des fils conducteurs transportant de l'énergie.
Faculté de Médecine de Paris, Biologie Aeronautique 1965

Influence sur la santé humaine de la proximité des conducteurs de électricité a haute tension.
Faculté de Médecine de Paris, 1970

- SUNDERMANN, H., Über die Möglichkeit eines Biotropismus luftelektrischer Erscheinungen.
Arch. Meteor. Geophys. Bioklim.
258, 1954
- TAGAKI, T., Effets chez l'homme et l'animal
MUTO, T., de l'induction electrostatique
produite par les lignes de 500 kV.
The Tokio Electric Power Co.,
Inc. 1971
- TATSUNO, J., Evozierte Potentiale beim Menschen
MARSONER, H.J., als Antworten auf akustische Stimuli,
WAGENER, F.M., getriggert durch die Alpha-Aktivität.
Acta. biol. med. germ., Bd. 23,
469-482, 1969
- THACH, J.S., Suppression of appetitive vigilance
behaviour in saimiri sciureus by
intense DC electromagnetic fields.
Paper presented at the 40th Annual
Meeting, Aerospace Med. Association,
5-8 May 1969, San Francisco, Calif.
- TISCHER, G., Prozeßgutachten zur Verlegung einer
110-kV-Freileitung im Lebensraum
der Bevölkerung der Stadt Hilchen-
bach.
1971
- TRANEN, J.D., Electrostatically induced voltages
WILSON, G.L., and currents on bodies under EHV
transmission lines.
Massachusetts Institute of Technology,
Department of Electrical Engineering,
Special Printing 278, 1969

TROMP, S.W.,

Seasonal and yearly fluctuations in meteorologically induced electromagnetic wave patterns in the atmosphere (period 1956-1958) and their possible biological significance.

A Review. J. interdiscipl. Cycle Res., 1, 193-199, 1970

Medical Biometeorology.

Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1963

VON UEXKÜLL, Th.,
KILLING, F.,

Ein Apparat zur fortlaufenden unblutigen Registrierung von Puls und Blutdruck.

Münch. Med. Wochenschr. 101, 380-382, 1959

UNGAR, F.,
BRACHAT,

Zur medizinischen Bedeutung magnetischer Wirkungen in unserem technischen Zeitalter.

Ars medici 6, 398, 1963

VARGA, A.,

Die biologische Wirkung von Gleichfeldern, Elektrolyt-Ionen und elektrischen Gleichströmen.

Z. f. angew. Bäder- und Klimaheilkunde, 16, 358-370, 1969

Wirkung von Luftionen auf die Herzfrequenz.

Umschau 68, 152, 1968

VARGA, A.,

Über elektrokinetische Erscheinungen an biologischen Grenzflächen unter besonderer Berücksichtigung der roten Blutzellen.

Wetter-Boden-Mensch 12, 1971

s. a. Elektromedizin 11, 151-158, 1966

Forschungsbericht über die physiologische Wirkung von Luftionen und deren Bedeutung als Umweltfaktoren.

Wetter-Boden-Mensch 15, 1972

Elektrische und magnetische Umweltfaktoren und deren biologische Bedeutung.

Wetter-Boden-Mensch 6, 1969

VATTER, D.,
MÜLLER, J.,
REISCHMAUL, B.,

Das DC-Potential des Schädels und seine Beziehungen zum EEG.

Z. Elektromedizin B 13, H 3, 1968

VATTER, O.,
REISCHMAUL, B.,

Erfassung, Wanderung und Herkunft der langsamen Wellen im EEG.

Z. Elektromedizin B 14, H 4, 154, 1969

VJALOV, A.M.,

Magnetfelder als Faktor des Arbeitsmilieus.

Vesten. akad. mde. nauk. SSSR 22, Nr. 8, 1967

- VOGEL, P.A., Zur Technik der EEG-Telemetrie
unter schwierigen Bedingungen.

Z. Elektromedizin B 14, H 2,
64, 1969
- WEHNER, A.P., Die Entwicklung der Elektro-
aerosologie in den USA.

Zbl. biol. Aerosolforsch. 13,
1, 1966
- WEISSENBORN, G., Das längst bekannte Magnetfeld -
seine unbekannten Wirkungen auf
den menschlichen Kreislauf.

Medizin Heute, Heft 9, Sept. 1968
- WESTMAN, H., 735-kV line designed for barehand
et al. maintenance.

Hydro-Quebec, Canada, Electric
Light and Power, 1967
- WEVER, R., Über die Beeinflussung der circa-
dianen Periodik des Menschen durch
schwache elektromagnetische Felder.

Z. f. vergl. Physiologie 56, 111,
1967

Einfluß schwacher elektromagnetischer
Felder auf die circadiane Periodik
des Menschen.

Naturwissensch. 55, 1, 29, 1968

WORDEN, J.L.,

The effect of unipolar ionized
air on the relative weights of
selected organs of golden hamster.

St. Bonaventure Univ. Sci. Studies,
15, 1953

ZAHNER, R.,

Zur Wirkung des elektrischen Feldes
auf das Verhalten des Goldhamsters.

Z. f. vergl. Physiologie 49, 172,
1964

Die Arbeit wurde durch Unterstützung des Institutes für Hochspannungs- und Anlagentechnik der TU München und der Forschungsstelle für Elektropathologie Freiburg ermöglicht, wofür ich meinen besten Dank ausspreche.

Lebenslauf

Am 25. Juli 1945 wurde ich, Günter Hauf, in Planegg geboren. Meine Jugendzeit verbrachte ich im elterlichen Hause.

In Freiburg besuchte ich die Volksschule und anschließend das Kepler-Gymnasium und die Wirtschaftsoberschule, wo ich die Reifeprüfung ablegte.

Das Studium der Medizin erfolgte an der Universität München.

